Die Bewegung der Jonen bei der elektrischen Entladung

AUX STOR 1
QD 553 .R54x

Von

Prof. Augusto Righi

THE LIBRARY
BRIGHAM YOUNG UNIVERSITY
PROVO, UTAH

QD
553
-R54x

Die Bewegung der Ionen
bei
der elektrischen Entladung

Von

Augusto Righi (1850-1920)

Deutsch von **Max Iklé**

Mit 3 Tafeln und 12 Figuren im Text

LEIPZIG
Verlag von Johann Ambrosius Barth
1907

Spamersche Buchdruckerei in Leipzig.

THE LIBRARY
BRIGHAM YOUNG UNIVERSITY
PROVO, UTAH

Geleitwort des Übersetzers.

Die Arbeit Augusto Righis, welche hiermit dem deutschen Leserkreise zugänglich gemacht wird, ist aus einem Vortrage entstanden, den der Verfasser am 7. März 1903 in einer Sitzung der Abteilung Bologna der Italienischen Elektrotechnischen Gesellschaft gehalten hat. Sie schließt sich inhaltlich wie textlich im allgemeinen eng an diesen Vortrag an. Der Verfasser hat es sich jedoch durch wiederholte Überarbeitung — bei der Vorbereitung der ersten italienischen Buchausgabe bald nach dem Vortrage sowie der zweiten im darauffolgenden Jahre, endlich jetzt bei der Vorbereitung der deutschen Ausgabe — angelegen sein lassen, etwaige dem Vortrage anhaftende Ungleichmäßigkeiten zu beseitigen und die seither gewonnenen Forschungsergebnisse zu berücksichtigen.

An der Hand einer Reihe treffend gewählter und geschickt durchgeführter Beispiele weiß der Verfasser sein Publikum zum Verständnis der Bedeutung und Tragweite der modernen Elektronentheorie zu führen und, um mich der Worte des Autors in seiner Vorrede zur zweiten italienischen Ausgabe zu bedienen, „in ihm den Wunsch zu erwecken, sich eingehender in einen Gegenstand zu vertiefen, der von Tag zu Tag immer interessanter zu werden scheint.“ Dabei

findet auch das Verhältnis der Elektronentheorie zu anderen Theorien gebührende Berücksichtigung.

Als jetzt Verfasser und Verleger an mich mit der Aufforderung herantraten, die Übertragung des Werkes ins Deutsche zu besorgen, bin ich dieser Anregung mit Freuden gefolgt, und ich muß gestehen, daß das Vergnügen an dieser Arbeit im Verlaufe der Zeit mehr und mehr gewachsen ist, so daß ich nunmehr, nachdem die Übertragung beendet ist, ungern die Feder aus der Hand lege. Ich habe mich bei der Übersetzung tunlichst eng an den italienischen Text angeschlossen und mich bemüht, die charakteristischen Eigentümlichkeiten des Werkes — klare und deutliche, dabei stets fesselnde und auch dem gebildeten Laien verständliche Darstellungsweise — möglichst zur Geltung gelangen zu lassen. Nur an manchen Stellen, wo die Verschiedenheit der beiden Sprachen mir dies dringend zu erheischen schien, habe ich mir erlaubt, den Periodenbau zu ändern und an Stelle der langen Satzgefüge des italienischen Textes kürzere Gebilde im Deutschen zu setzen. Ich hoffe, daß das Werk durch diese Übertragung nicht gar zu viel von seiner Schönheit und von der Unmittelbarkeit, mit welcher das Original auf den Leser wirkt, verloren haben möge.

Zehlendorf (Wannseebahn) bei Berlin,
im Juli 1907.

Max Iklé.

I.

Die Vorstellungen über die Natur der elektrischen Erscheinungen haben sich naturgemäß im Laufe der Zeit in dem Maße geändert, wie die Wissenschaft durch neue Gesetze und neue Erscheinungen bereichert worden ist. So geriet nach dem Auftreten der Maxwellschen Theorie, die uns der Notwendigkeit überhob, das Vorhandensein von Fernkräften anzunehmen, die Fluidumtheorie in Mißkredit, obgleich wir uns, streng genommen, auch bei der Maxwellschen Theorie gezwungen sehen, ein von der ponderablen Materie verschiedenes Etwas — Elektrizität oder elektrisches Fluidum — anzunehmen.

Heutzutage haben unsere Grundvorstellungen eine neue Entwicklung erfahren. Die Elektrizität wird nicht mehr als ein kontinuierliches Fluidum angesehen, sondern als zusammengesetzt aus unzähligen kleinen Teilchen, die alle untereinander gleich sind, einer Art elektrischer Atome, denen man den Namen Elektronen gegeben hat. Fast allgemein werden positive Elektronen und negative Elektronen angenommen, d. h. Elementarmengen von gleichem absoluten Wert der Elektrizität beider Arten; immer-

hin sind manche der Ansicht, daß nur für die letzteren der Beweis ihrer gesonderten und unabhängigen Existenz erbracht sei.

Diesen Elektronen müssen wir nun gewisse Eigenschaften beilegen, um mit ihrer Hilfe ein vollständiges Modell der elektrischen Erscheinungen konstruieren zu können; in erster Linie müssen wir ihnen die Eigenschaft zuschreiben, sich nach den bekannten Gesetzen von Coulomb anzuziehen oder abzustoßen. Man nimmt jedoch an, daß diese gegenseitigen Kräfte zwischen den Elektronen nur scheinbar Fernwirkungen sind und daß sie von den Ätherdrucken herrühren, gerade wie die elektrischen Kräfte zwischen den elektrisierten Körpern in der Maxwellschen Theorie, welch letztere somit ihre Bedeutung und ihre Gültigkeit vollständig behält.

Die Elektronentheorie hat vielerlei Quellen, d. h. man ist von ganz verschiedenen Erscheinungen ausgehend zu dieser Theorie gelangt, von Erscheinungen, zwischen denen man vielleicht sonst keinerlei engere Verbindung vermutet haben würde, wie Elektrolyse, Entladungen in Gasen und gewisse elektrooptische Erscheinungen. Diese neue Auffassung findet sich bereits in den Werken Maxwells unsicher angedeutet, ebenso noch weiter zurück in den Schriften des großen Forschers Faraday. In ausführlicherer Form wurde sie indessen von Helmholtz im Jahre 1881 angegeben.

Man nimmt an, daß der Vorgang der Elektrolyse den Ionen zuzuschreiben sei, welche durch die von den Elektroden ausgehenden elektrischen Kräfte in Bewegung gesetzt werden. Ein Elektrolyt enthält immer eine gewisse Zahl von Ionen beider Arten, und der Vorgang des elektrischen Stromes in ihm besteht in der durch die Ionen bewirkten Überführung der entgegengesetzten Ladungen. Diese Ionen entstehen aus der Dissoziation einiger Moleküle, oder durch die Spaltung eines jeden von ihnen in ein negativ elektrisiertes Ion (ein Atom oder eine Atomgruppe) und in ein positiv elektrisiertes. Die negativen Ionen bewegen sich vorwiegend gegen die positive Elektrode oder Anode hin, und die positiven Ionen auf die Kathode zu; und sobald sie nun an den Elektroden angelangt sind, geben sie ihre elektrische Ladung (unmittelbar oder mittelbar) an diese ab; dadurch hören sie dann auf, Ionen zu sein, um gewöhnliche Atome oder Atomgruppen zu werden. Hier wies nun Helmholtz in geistvoller Weise darauf hin, daß die Annahme durchaus naturgemäß sei, daß die kleinen Ladungen, welche seitens der Ionen — die ja nach dem Gesetz von Faraday ihrem absoluten Werte nach alle untereinander gleich sind — abgegeben werden, daß diese Ladungen ihre Individualität beibehalten, und daß sie, wenn sie einmal in den metallischen Leitungskreis eingedrungen sind, ihre Sonderexistenz bewahren, ohne sozusagen zu

einer kontinuierlichen Masse des hypothetischen in Bewegung befindlichen elektrischen Fluidums zu verschmelzen. Sind die elektrischen Ladungen, welche mit den Atomen vereint die Ionen bilden, einmal isoliert, so sind sie nichts weiter als die Elektronen, und wir werden daher den elektrischen Strom im Innern der Metalle als in der Bewegung eben der Elektronen bestehend ansehen müssen.

Viele Forscher halten es nicht für notwendig, das Vorhandensein sowohl negativer als auch positiver Elektronen anzunehmen, sie glauben vielmehr, daß nur die einen oder nur die anderen den Strom bilden. Nun deuten verschiedene Erscheinungen auf das Vorhandensein isolierter negativer Elektronen mit sehr großer Beweglichkeit hin, während die analogen Anzeichen zugunsten der positiven Elektronen fehlen; nimmt man daher die eben erwähnte Anschauungsweise an, so wird man die Vorgänge der elektrischen Strömung den negativen Elektronen zuschreiben. In diesem Falle wird man nicht mehr sagen, daß die positiven Ionen ihr positives Elektron an die Kathode abgeben, sondern vielmehr, daß die Kathode an jedes von ihnen ein negatives Elektron abgibt.

Das Studium der elektrischen Entladungen in Gasen hat in jüngster Zeit Tatsachen aufgestellt, welche noch unmittelbarer die Annahme der Elektronen stützen. Besonders fruchtbar ist das Studium

der Entladungen in Gasen bei sehr tiefen Drucken geworden, weil unter solchen Verhältnissen die verschiedenen Teile der Entladung deutlicher unterschieden erscheinen.

Wie Ihnen sicherlich Allen bekannt ist, nimmt die Entladung bei gewöhnlichem Luftdruck die Gestalt eines Funkens an, wenn sie zwischen Elektroden mit nicht allzugroßer Krümmung übergeht, anderenfalls die Gestalt eines Sternchens oder Büschels. Wird jedoch die Luft verdünnt, so erleidet die Entladung nach und nach Veränderungen, bis sie sich schließlich in zwei deutlich unterschiedene Teile teilt, die man als positives Licht und Glimmlicht bezeichnet. Das erstere ist rötlich oder rot und erstreckt sich von der Anode aus bis auf eine gewisse Entfernung von dieser. Das letztere ist blauviolett und geht von der Kathode aus. Zwischen beiden bleibt ein verhältnismäßig dunkler Zwischenraum, genannt der Faradaysche dunkle Raum. Setzt man die Verminderung des Luftdrucks weiter fort, so zieht sich die positive Lichtsäule, die oftmals in einzelne, auch durch verhältnismäßig dunkle Zwischenräume voneinander getrennte, Schichten zerfällt, nach der Anode hin zurück, während sich das Glimmlicht mehr und mehr ausdehnt und sich dabei gleichzeitig von der Kathode loslöst. Auf dieser bleibt indessen eine leuchtende Schicht zurück, welche man als erste negative Schicht bezeichnen

kann. Sie ist von dem Glimmlicht oder der zweiten Schicht durch einen Zwischenraum getrennt, den man den dunklen Kathodenraum nennt. Hand in Hand mit der Abnahme des Luftdruckes geht eine Zunahme der Größe des negativen dunklen Raumes, bis schließlich nur ein immer kleiner werdender Teil des Glimmlichtes sichtbar bleibt. Dieser haftet an der Wandung der Röhre, in welcher man die beschriebene Reihenfolge der Erscheinungen beobachtet.

Wenn man nun auf diesem Punkte angelangt ist, so treten die wunderbaren Erscheinungen auf, welche man den sogenannten Kathodenstrahlen zuschreibt. Diese Erscheinungen sind eben von der Art, wie sie auftreten würden, wenn von der Kathode Strahlen ausgingen, die geradlinig verliefen und auf der Kathodenoberfläche senkrecht ständen, und die mit der Eigenschaft ausgestattet wären, die von ihnen getroffenen Körper zu erwärmen und sie zuweilen auch zum Leuchten zu erregen, ferner durch ihr Auftreffen auf einen Körper (Antikathode) neue Strahlen von anderer Natur hervorzubringen, die dann eben die berühmten Röntgenstrahlen bilden, und schließlich das Gas, durch welches sie sich fortpflanzen, leitend zu machen.

Daß die mutmaßlichen Kathodenstrahlen geradlinig sind, zeigt man gewöhnlich mit dem Apparate, den Sie hier (in Figur 1) sehen. Er rührt von

Crookes her, der damit eine schon früher bekannte Erscheinung veranschaulichte. Wie Sie sehen, enthält diese Röhre zwei Elektroden. Die positive von ihnen kann jede beliebige Gestalt haben und an beliebiger Stelle angebracht sein; die negative Elektrode dagegen besteht aus der kleinen Aluminiumscheibe, die am engsten Ende der Röhre angebracht

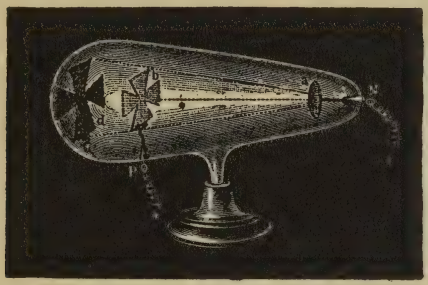

Fig. 1. Elektrischer Schatten nach Crookes.
Na Kathode; *P* Anode; *b* Aluminiumkreuz; *d* dessen Schatten.

ist. Zwischen der Kathode und der ihr gegenüberliegenden breiten Wand ist ein kleines Aluminiumblech senkrecht aufgestellt; man gibt ihm gewöhnlich die Gestalt eines Kreuzes. Es kann nach Belieben auch als Anode dienen. Ich lasse nunmehr die Entladung dieses großen Induktoriums durch die stark verdünnte Luft in der Röhre hindurchgehen, und Sie sehen, wie sich mitten aus dem grünen Leuchten der Wandung eine Art Schatten des Kreuzes heraushebt, d. h. ein Gebiet, in welchem das Leuchten ganz fehlt oder sehr schwach ist. Die scharfe Be-

grenzung dieses Schattens, seine Gestalt und der Ort, den er einnimmt, beweisen eben die geradlinige Fortpflanzung der mutmaßlichen Kathodenstrahlen.

Man nimmt allgemein an, daß die Kathodenstrahlen außer den aufgezählten Wirkungen durch ihr Auftreffen auf leichte und sehr bewegliche Körper diese in Bewegung setzen können. Ich habe nun vor vielen Jahren gelegentlich einen Versuch gemacht, durch welchen ich mich zu der Annahme für berechtigt erachte, daß die mechanische Wirkung der Kathodenstrahlen, wenn nicht ganz, so doch wenigstens zum großen Teile, eine sekundäre Wirkung der durch sie erzeugten Erwärmung sei. Da ich die erforderlichen Hilfsmittel hier zur Hand habe, so will ich Ihnen diesen Versuch vorführen.

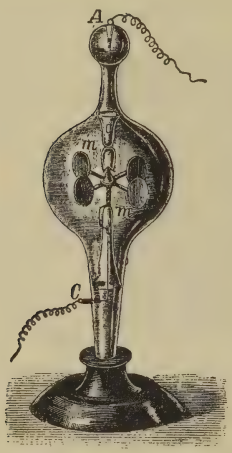

Fig. 2. Crookessche Röhre mit Mühlrädchen.

A Anode; *C* Kathode, die sich im Mühlrädchen *mm* fortsetzt.

Sie sehen hier (Figur 2) einen der Apparate, welche Crookes erfunden hat, um die mechanische Wirkung der Kathodenstrahlen zu veranschaulichen (oder besser, um mich der von ihm dafür gegebenen Deutung anzupassen, um die mechanische Wirkung

der strahlenden Materie zu veranschaulichen.) Diese kleine Glaskugel ist luftdicht verschlossen und mit Luft von sehr geringem Druck gefüllt. Sie enthält außer einer beliebigen Anode eine Kathode von der Form eines Mühlrades mit vier Aluminiumflügeln, die auf einer scharfen Spitze gelagert ist und dadurch eine große Beweglichkeit erhält. Die eine Fläche dieser Flügel ist frei, die andere mit Glimmer bedeckt, und alle freien Flächen sind in demselben Sinne angeordnet. Schicke ich nun, wie ich es jetzt tue, die Entladung des Induktoriums durch den soeben beschriebenen Apparat hindurch, so beginnt das Mühlrädchen sich sehr schnell zu drehen, und zwar in solchem Sinne, daß bei seiner Bewegung die Glimmerscheibchen stets den Metallblättchen, an die sie angeheftet sind, vorangehen. Nach Crookes sollte diese Erscheinung auf die mechanische Reaktion der von ihm angenommenen strahlenden Materie zurückzuführen sein, die von den als Kathode wirkenden Metalloberflächen in normaler Richtung fortgeschleudert würde. Ich will Ihnen nun meinen sehr einfachen Versuch vorführen: Ich neige den Apparat ein wenig, und die Mühle kommt infolge der starken Reibung, die sich bei dieser Stellung ihrer Bewegung widersetzt, zur Ruhe; dann unterbreche ich die Entladung. Nunmehr bringe ich den Apparat langsam wieder in seine normale Lage zurück, achte dabei aber sorgsam darauf, daß ich nicht unwillkürlich die

Mühle in Drehung versetze; ich suche vielmehr, sie eher in entgegengesetztem Sinne wie gewöhnlich sich drehen zu lassen. Nun sehen Sie, wie die Mühle ihre schnelle Drehung im gewohnten Sinne wieder aufnimmt, und wie diese erst nach einer gewissen Zeit langsamer wird und aufhört.

Offenbar fehlt jetzt die mechanische Rückwirkung auf die Mühlradflügel, da ja die Entladung fehlt. Es liegt also eine andere Ursache für die Drehung

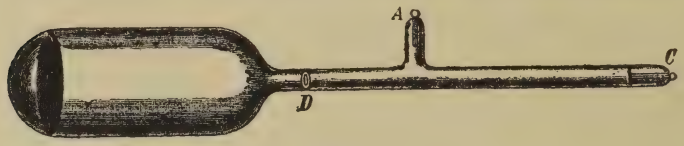

Fig. 3. Braunsche Röhre.

A Anode; *C* Kathode; *D* Diaphragma; *F* mit phosphoreszierendem Pulver überzogene Glimmerscheibe.

vor, und zwar sicherlich dieselbe, die sich bei dem bekannten Crookesschen Radiometer zeigt, nämlich die ungleiche Erwärmung der beiden Flächen jedes Flügels, die im vorliegenden Falle dadurch hervorgerufen worden ist, daß die Flügel selbst als Kathode gedient haben. Es erscheint mir daher sicher, daß die durch die Kathodenstrahlen sowohl in der Kathode, von der sie ausgehen, als auch in den Körpern, auf die sie auftreffen, erzeugte Wärme wenigstens zum Teil die Ursache der mechanischen Wirkung ist, welche diese Strahlen hervorbringen.

Diese dritte Röhre, welche ich Ihnen hier zeige (Figur 3), zeigt einerseits nochmals die geradlinige

Fortpflanzung der Kathodenstrahlen; außerdem soll sie mir dazu dienen, eine weitere Eigentümlichkeit dieser Strahlen zu veranschaulichen. Diese Röhre rührt von Braun her. Sie enthält an ihrem dünnen Ende eine Kathode, gegen die Mitte hin eine durchbohrte Blende und am breiten Ende eine mit einer phosphoreszierenden Masse überzogene Glimmerscheibe. Ich setze sie in Tätigkeit, und Sie sehen, wie die Kathodenstrahlen, die von der Blende begrenzt werden, ein kleines kreisförmiges Gebiet der Glimmerscheibe leuchtend machen, dessen Lage ein Beweis dafür ist, daß die Kathodenstrahlen auf geradliniger Bahn dahin gelangen.

Ich nähere der Röhre diesen kleinen Magneten, und Sie sehen den Lichtfleck sich verschieben. Die Kathodenstrahlen krümmen sich also, wenn sie der Wirkung eines Magnetfeldes ausgesetzt werden, und man hat sogar aus genauen Untersuchungen, die über diese Erscheinung angestellt worden sind, abgeleitet, daß sie sich so verhalten, als setzten sie sich aus negativ elektrisierten und mit sehr großer Geschwindigkeit begabten Korpuskeln zusammen. Solche Korpuskeln müssen nämlich durch die Kraft, welche nach der Maxwellschen Theorie auf eine bewegliche elektrische Ladung in einem Magnetfelde wirkt, genau in derselben Weise aus ihrem Wege abgelenkt werden.

Bringt man in einer Braunschen Röhre, wie wir

sie eben benutzt haben, zwei parallele und entgegengesetzt elektrisierte Metallplatten so an, daß die Kathodenstrahlen gleich nach ihrem Austritt aus der durchbohrten Blende zwischen ihnen hindurchgehen müssen, so beobachtet man eine Verschiebung des durch sie zum Leuchten gebrachten Gebietes, die offenbar von der ablenkenden Wirkung des elektrischen Feldes auf die Korpuskeln herrührt.

Es ist nunmehr klar, welche Vorstellung wir uns von den Kathodenstrahlen bilden müssen; es ist nahezu dieselbe, welche Crookes davon hatte, als er seine Hypothese von der strahlenden Materie aufstellte. Zwischen jener Zeit und der Gegenwart wurde diese Auffassung für kurze Zeit verlassen und durch eine andere ersetzt, welche eine Zeitlang von Hertz und anderen deutschen Physikern aufrecht erhalten wurde; heutzutage aber, ich wiederhole es, gibt es meiner Ansicht nach niemanden, der nicht davon überzeugt wäre, daß die Kathodenstrahlen nichts anderes sind als die Bahnen der mit sehr schneller Bewegung ausgestatteten negativen Ladungen.

Indessen unterscheidet sich die heutige Anschauungsweise doch ein wenig von der zur Zeit der ersten Veröffentlichungen von Crookes über diesen Gegenstand herrschenden. Damals nahm man allgemein an, daß die in Bewegung befindlichen Teilchen die Moleküle des in der Röhre enthaltenen

verdünnten Gases selbst seien; heute dagegen nimmt man an — und sicherlich ist auch Crookes heute ebenderselben Meinung — daß diese Teilchen nichts weiter sind als die freien negativen Elektronen.

Man würde in einen sehr schweren Irrtum verfallen, wenn man annehmen würde, daß die Elektronentheorie keine anderen und sichereren Grundlagen hätte als diese, eine leichte Erklärung für die Kathodenstrahlen abgeben zu können. Es genügt aber für die Annahme einer Hypothese nicht, daß sie eine Erscheinung genetisch zu erklären vermag. Die Physik ist eine der am weitesten entwickelten und fortgeschrittenen Experimentalwissenschaften, und sie nimmt eine Hypothese nur dann an, wenn diese in der Lage ist, zahlreiche Erscheinungen auch quantitativ zu erklären, und auf neue Erscheinungen hinzuweisen, welche dann später durch die Erfahrung bestätigt werden. Man hat daher der Elektronentheorie erst Bedeutung beizulegen begonnen, nachdem erwiesen war: daß die Kathodenstrahlen identische Eigenschaften besitzen, unabhängig von dem verdünnten Gase, in dem sie entstehen, und von dem Metall, aus welchem die Kathode besteht; daß sie wirklich negative Ladungen transportieren, welche man mit Hilfe geeigneter Versuchsanordnungen auffangen kann; daß ihre Geschwindigkeit zwar sehr groß ist, aber doch geringer als die des Lichtes, ein Umstand, der allein schon hinreicht, um

die Hypothese von Hertz ohne weiteres abzuweisen; daß die gedachten bewegten Teilchen eine — ob nun reelle oder scheinbare — Masse besitzen; daß man für das Verhältnis zwischen der elektrischen Ladung und der Masse jedes Teilchens stets merklich denselben Wert gefunden hat, sooft man es auf Grund verschiedener Methoden und Erscheinungen zu messen in der Lage gewesen ist; daß endlich dieses Verhältnis viel größer ist als das den elektrolytischen Ionen zukommende, ungefähr zweitausendmal so groß wie das dem Wasserstoffion bei der Elektrolyse zukommende.

Alle diese Tatsachen würden sich schlecht mit der Hypothese von der strahlenden Materie in ihrer alten Gestalt vertragen und noch schlechter mit der Theorie, nach welcher die Kathodenstrahlen auf einem dem Lichte mehr oder minder ähnlichen Phänomen beruhen sollten; dagegen geben sie eine breite Grundlage für die Elektronentheorie ab.

Das zuletzt genannte Ergebnis, daß nämlich das Verhältnis zwischen der Ladung und der Masse der Elektronen gegenüber dem entsprechenden Verhältnis für die Ionen sehr groß ist, dieses Ergebnis läßt sich streng genommen prinzipiell auf zweierlei Weise erklären. Einmal kann man nämlich annehmen, daß die bewegten Teilchen nicht die gedachten Elektronen sind, sondern elektrisierte Moleküle oder Atome; dann muß man annehmen, daß

die Ladung jedes einzelnen von ihnen ungefähr zweitausendmal so groß sei wie die der elektrolytischen Ionen. Oder man kann annehmen — und das ist bei weitem wahrscheinlicher — daß die Ladungen bei diesen beiden verschiedenen Phänomenen dieselben seien; dann ist aber notwendigerweise die Masse jedes einzelnen Teilchens sehr klein, und diese Teilchen sind dann wirklich die Elektronen.

Diese letztere Deutung ist nicht nur die natürlichere, sondern sie wurde auch durch sinnreiche Versuche bestätigt, welche Prof. J. J. Thomson vor längerer Zeit angestellt und kürzlich wieder aufgenommen und vollendet hat. Es gelang ihm bei diesen Versuchen einerseits, die gesamte Menge der Ionen auszuwerten, welche unter der Einwirkung der Röntgenstrahlen oder anderer Strahlungen, von denen alsbald die Rede sein wird, in feuchter, in einem Rezipienten eingeschlossener Luft erzeugt werden; andererseits vermochte er die Anzahl der Ionen selbst zu zählen, und zwar auf Grund der Fallgeschwindigkeit der Nebeltröpfchen, die bei einer plötzlichen Ausdehnung der Luft entstehen, Tröpfchen, deren jedes ein Ion zum Kern hat.

Wie ich bereits anfangs sagte, haben neben dem Studium der Entladungen in Gasen auch andere Erscheinungen verschiedener Art zu der Elektronentheorie geführt, und zwar besonders die elektrooptischen Phänomene.

Bekanntlich kann man die Phänomene des Lichtes und der strahlenden Wärme als elektromagnetische Vorgänge ansehen und aus den Gleichungen des elektromagnetischen Feldes die Gleichungen ableiten, welche die Fortpflanzung der Lichtwellen darstellen. Diese elektromagnetische Lichttheorie gibt uns noch besser als die alte mechanische Theorie Fresnels Rechenschaft über die Grunderscheinungen der Optik, während einige von ihnen, wie die Erscheinung der Dispersion, oder im allgemeinen alle die, bei denen man auch in der Fresnelschen Theorie die ponderable Materie zu Hilfe nehmen muß, nicht erklärt werden. Dem holländischen Physiker H. A. Lorentz ist es nun gelungen, die Maxwellsche Theorie durch die Annahme zu ergänzen, daß mit den Atomen der Materie elektrisch geladene Teilchen verbunden seien, die entweder sämtlich positiv oder sämtlich negativ geladen seien, und die durch Absorption oder Emission an dem elektromagnetischen Vorgange teilnehmen. Insbesondere solle die Emission des Lichtes von diesen Teilchen herrühren, die, weil elektrisch geladen, durch ihre Schwingungen die elektromagnetischen Wellen hervorbringen, welche wir als Lichtwellen bezeichnen.

Lange Zeit hindurch erregte die Lorentzsche Theorie nicht völlig die verdiente Aufmerksamkeit. Aber die Entdeckung eines neuen elektro-optischen Phänomens durch Zeeman, einen Schüler von Lorentz,

vermochte diese Theorie in ihrer ganzen Bedeutung zur Geltung zu bringen, denn sie gestattete, eben dieses Phänomen in allen seinen Einzelheiten vorauszusehen.

Bekanntlich sendet ein leuchtendes Gas Strahlungen von gewissen charakteristischen Schwingungsperioden aus, aber nicht solche, die den dazwischenliegenden Perioden entsprechen, so daß das Spektrum des ausgesendeten Lichtes sich auf eine begrenzte Anzahl von Bildern des Spaltes beschränkt, aus dem das zerlegte Licht austritt, das heißt, auf eine begrenzte Anzahl leuchtender Linien, die durch dunkle Zwischenräume getrennt sind. Zeeman hat nun gezeigt, daß, wenn man in dem leuchtenden Gase ein starkes Magnetfeld hervorbringt, das Emissionsspektrum des Gases sich ändert, so daß jede Linie durch eine Gruppe neuer Linien ersetzt wird. Wir wollen einen der einfachsten Fälle betrachten, etwa den der hellsten Kadmiumlinie, während das Licht, das wir mit dem Spektroskop beobachten, sich in einer Richtung parallel zu der der magnetischen Kraft fortpflanzt. In dem Augenblicke nun, wo das Magnetfeld erregt wird, wird diese Linie durch zwei neue Linien ersetzt, die gegenüber der zuvor von der einzigen Linie eingenommenen Lage ein wenig verschoben sind. Weiter stellen wir mit den Hilfsmitteln, die uns die Optik an die Hand gibt, fest, daß das Licht der beiden Linien

zirkular polarisiert ist, und zwar das der einen rechtsdrehend und das der anderen linksdrehend.

Diese Verdoppelung der Linie und die Zirkularpolarisation der neuen Linien sieht die Lorentzsche Theorie voraus, für die daher der Zeemansche Versuch eine glänzende Bestätigung bietet.

Wenn nämlich die in dem leuchtenden Gase schwingenden Teilchen elektrisiert sind, so muß die magnetische Kraft auf sie eine mechanische Kraft ausüben, welche sich mit der elastischen Kraft, die die Teilchen in ihre Gleichgewichtslage zurückzuführen strebt und ihre Schwingungen unterhält, zusammensetzen wird. Auf Grund der Maxwellschen Theorie ließe sich leicht zeigen, daß die Periode eines zirkular schwingenden Teilchens vergrößert oder verringert wird, je nach dem Sinne, in welchem es sich in bezug auf die Richtung des Magnetfeldes dreht. Da man sich nun jede beliebige Pendelschwingung immer in zwei zirkulare Schwingungen von entgegengesetztem Drehungssinn zerlegt denken kann, so wird es verständlich, wie die von Zeeman entdeckte Veränderung des Spektrums zustande kommen muß.

Je nachdem man die Ladung der schwingenden Teilchen als positiv oder als negativ voraussetzt, wird entweder die neue Linie, welche der Schwingungsperiode entspricht, die größer ist als die ursprüngliche Periode, oder aber die Linie, welche der

Schwingungsdauer entspricht, die kleiner ist als die ursprüngliche, ihre Zirkularschwingungen im Sinne des Kreisstromes ausführen, durch den man sich das Magnetfeld entstanden denken kann. Durch die Untersuchung des Drehungssinnes der beiden neuen Linien hat man nun erkannt, daß man, um die Theorie mit der Erfahrung in Einklang zu bringen, notgedrungen annehmen muß, daß die schwingenden Teilchen negative Ladung besitzen. Des weiteren haben geeignete Messungen, die an den neuen Linien angestellt worden sind, die Mittel zur Bestimmung des Verhältnisses zwischen der Ladung eines jeden Teilchens und seiner Masse an die Hand gegeben, und damit ist man zu Ergebnissen gelangt, die ihrer Größenordnung nach mit den aus dem Studium der Entladungen gewonnenen übereinstimmen. Man muß also annehmen, daß die Teilchen, welche mit ihren Schwingungen an den durch den Äther sich fortpflanzenden Lichterscheinungen teilnehmen, nichts anderes sind als die negativen Elektronen, welche wir schon durch die Kathodenstrahlen kennen gelernt haben.

Aus diesen unvollständigen Andeutungen, die ich Ihnen hier über die Quellen der Elektronentheorie habe geben können, darf man folgern, daß diese Theorie eine sehr breite Grundlage in Erscheinungen verschiedener Natur hat, und daß sie verdient, aufmerksame Beachtung zu finden, und, wie dies bereits

zu wiederholten Malen und mit vollem Erfolge geschehen ist, zur Erklärung anderer Erscheinungen und zur Voraussage neuer Phänomene herangezogen zu werden.

Versuchen wir aber, immer tiefer in das innerste Wesen der Erscheinungen einzudringen, so gelingt uns dies nur unter Zuhilfenahme von Hilfshypothesen. Diese können nun ganz verschieden sein, und es wird daher noch viel Zeit und Arbeit erforderlich sein, ehe neue Tatsachen uns gestatten werden, unter ihnen die beste zu wählen. Einstweilen sind deshalb die Ansichten recht weit auseinandergehend. Wir haben keinen Beweis für das unabhängige Vorkommen der positiven Elektronen, sondern nur für das der negativen, und daher nehmen denn auch viele Forscher, wie ich bereits erwähnt habe, nur das Vorhandensein dieser letzteren an. Andere nehmen an, daß die Elektronen beider Vorzeichen existieren, geben aber zu, daß es bislang nur gelungen ist, die negativen Elektronen von den neutralen Atomen zu trennen. Manche gehen auch noch weiter und nehmen an, daß die eigentlichen Atome der ponderablen Materie einfach durch die Aneinanderlagerung von Elektronen der beiden Arten zu einem System gebildet werden; dadurch gelangt man zur Annahme der Auffassung von der Einheit der Materie. Die sehr kleine Masse der Elektronen muß auf jeden Fall wenigstens teilweise eine scheinbare

sein und von dem durch ihre Bewegung erzeugten Magnetfelde herrühren. Man nimmt sogar heute auf Grund feiner und sinnreicher Messungen, zu deren Beschreibung mir hier die Zeit fehlt, allgemein an, daß die Masse der Elektronen vollständig elektromagnetisch ist.

Wenn, wie wir allem Anscheine nach hoffen dürfen, es der Elektronentheorie einmal gelingen wird, uns eine vollständige Synthese der Erscheinungen zu liefern, so wird doch immer noch das Wesen der Elektronen selbst zu erklären bleiben. Vielleicht überschreitet das aber die Fähigkeitsgrenzen des menschlichen Geistes, und der letzte Grund bleibt uns ewig unbekannt. Der Einbildungskraft indessen steht es jederzeit frei, sich mehr oder weniger befriedigende Hypothesen zu schaffen, und so versucht denn ein jeder für sich selbst seine eigene Hypothese aufzubauen und sie aufzustellen, wenn sie ihm hinreichend wahrscheinlich erscheint. So betrachten denn manche die Elektronen als örtlich begrenzte Verdichtungen oder Verdünnungen des Weltäthers, doch vermögen sie nicht zu erklären, wie durch solche örtlich begrenzte Veränderungen die über den ganzen Äther ausgebreiteten Veränderungen entstehen, welche die scheinbare gegenseitige Anziehung und Abstoßung der Elektronen untereinander hervorzubringen vermögen.

Es ist indessen hier nicht der Platz, diesen

gaukelnden Bildern nachzugehen. Das würde uns zu weit von dem Felde unserer Betrachtungen entfernen. Wir wollen vielmehr zu unserem hauptsächlichen Gegenstande zurückkehren und wollen sehen, wie die Ionen in Gasen entstehen, und wie sie sich verhalten, wenn der Vorgang der elektrischen Entladung eintritt.

II.

Ein Gas, welches keine freien Ionen enthielte, wäre ein vollkommener Isolator. Die atmosphärische Luft enthält immer eine kleine Anzahl Ionen und ist daher mit einem geringen Maße von Leitfähigkeit ausgestattet.

Unter gewissen Umständen indessen entstehen in der Luft oder in irgend einem beliebigen anderen Gase Ionen in großer Anzahl, es findet Ionisation statt.

Die Ionisation besteht in der Abtrennung eines oder mehrerer negativer Ionen von einem Atom, welches dadurch in ein positives Ion verwandelt wird. Dann kann, besonders in Gasen bei gewöhnlichem Druck, der Fall eintreten, daß das freie Elektron sich mit einem Atome vereinigt und dieses dadurch in ein negatives Ion verwandelt. Manche Tatsachen scheinen auch darauf hinzuweisen, daß sich in gewissen Fällen dem positiven Ion und dem Elektron Atome in großer Anzahl zugesellen, und daß auf diese Weise Ionen von verhältnismäßig be-

trächtlicher Masse entstehen. Gerade so wie die Fortpflanzung der Elektrizität in einem Elektrolyten in der Bewegung der positiven Ionen in einer und der negativen in der entgegengesetzten Richtung besteht, so besteht auch ihre Fortpflanzung in einem Gase in der Bewegung der durch die elektrischen Kräfte beschleunigten positiven und negativen Ionen (wobei unter den letzteren auch freie Elektronen verstanden werden können). Die Ionisation erfordert offenbar die Anwendung von Energie, die dabei in potentielle Energie verwandelt wird, genau wie das Schmelzen eines festen oder die Verdampfung eines flüssigen Körpers Energie erfordert. Diese Energie kann nun auf verschiedene Art und Weise geliefert werden.

So sind beispielsweise die Röntgenstrahlen oder X-Strahlen Ionisatoren.

Das Wesen dieser Strahlen, die ihren Ursprung dort haben, wo ein Körper von Kathodenstrahlen getroffen wird, ist noch nicht mit Sicherheit bekannt. Wir haben indessen gewichtige Gründe für die Annahme, daß diese Strahlen die Manifestation von Ätherwellen oder elektromagnetischen Wellen sind, welche von der plötzlichen Geschwindigkeitsänderung der Elektronen herrühren. So viel steht auf jeden Fall fest, daß sie das Gas, durch welches sie hindurchgehen, leitend machen, indem sie in ihm Ionen beider Arten erzeugen.

Dieselbe Wirkung wird durch die ultravioletten Strahlen hervorgerufen, wie sie der Voltasche Lichtbogen oder der elektrische Funke reichlich aussenden.

Eine Ionisierungsquelle haben wir auch in den Strahlen, welche Becquerel, der derzeitige Vertreter eines Geschlechtes hervorragender Physiker, entdeckt hat. Becquerel fand, daß das Uran und seine Salze beständig gewisse Strahlen aussenden, die nicht nur die Phosphoreszenz gewisser Körper zu erregen und auf die photographische Schicht einzuwirken vermögen, sondern auch die Luft, durch welche sie hindurchgehen, leitend machen.

Eine analoge Fähigkeit, jedoch mit sehr viel stärkerer Wirkung, fand man an anderen Körpern als Ergebnis sorgfältiger und mit großer Ausdauer fortgeführter Untersuchungen verschiedener Physiker, ganz besonders des Ehepaares Curie. Die Strahlung, welche diese Körper, die man als radioaktive bezeichnet, aussenden, ist im allgemeinen ziemlich komplex. Man unterscheidet in ihr: 1. eine Emission negativer Elektronen (β-Strahlen nach der Bezeichungsweise von Rutherford), das heißt von Strahlen, die mit den Kathodenstrahlen identisch sind und wie diese durch den Magneten und durch elektrische Kräfte abgelenkt werden; 2. eine Emission von Röntgenstrahlen verschiedenen Durchdringungsvermögens (γ-Strahlen), die keine Ladung mit sich führen und durch den Magneten nicht abgelenkt

werden; 3. eine Emission positiver Ionen (α-Strahlen), das heißt von Strahlen, die identisch sind mit denen, welche Goldstein Kanalstrahlen genannt hat, und welche den in Vakuumröhren (mit verdünnten Gasen gefüllten Röhren) nach der Kathode zu gerichteten Strom positiver Ionen bilden. Das Vorhandensein der letztgenannten Strahlungsart ist vor kurzem von Rutherford in der Emission des neuen Elementes Radium sowie von Becquerel in der des Poloniums, einer von Frau Curie entdeckten radioaktiven Substanz, nachgewiesen worden. Das Polonium sehen wir heute als eines der Produkte der aufeinanderfolgenden Umwandlungen im Atom des Radiums an, der Umwandlungen, welche die unmittelbare Ursache seiner Radioaktivität sind.

Alle diese Strahlungsarten bringen die Ionisation der Luft hervor, und zwar nicht nur unmittelbar, sondern auch mittelbar, insofern als die Körper, welche von Röntgenstrahlen oder von Becquerelstrahlen und allem Anschein nach auch von ultravioletten Strahlen getroffen werden, ihrerseits zum Ausgangspunkt neuer Strahlen werden, die Sekundärstrahlen genannt werden, und die dann auch wieder die Gase zu ionisieren vermögen.

Es scheint, daß auch eine einfache bis zu hoher Temperatur fortgesetzte Erhitzung die Ionisation eines Gases hervorbringen kann. Dies ist vielleicht der Fall bei den Flammen und den Gasen, die

glühende Körper umgeben. Die Ionisierungsenergie wird dann in Gestalt von Wärmeenergie geliefert.

Man darf die durch ultraviolette Strahlen hervorgerufene Ionisation der Luft nicht mit der Wirkung verwechseln, welche die Strahlen selbst hervorbringen, wenn sie auf feste oder flüssige Körper auftreffen, besonders wenn diese negativ elektrisch sind. In diesem letztgenannten Falle sendet der Körper Elektronen oder negative Ionen aus, während im erstgenannten die Strahlung gleichzeitig beide Ionenarten erzeugt.

Die Wirkung der Strahlung auf elektrisch geladene Körper ist von Hertz entdeckt worden. Hertz fand nämlich, daß die Entladung zwischen zwei Konduktoren begünstigt wird, wenn man die Strahlung auf den von beiden fallen läßt, der die negative Ladung besitzt. Bald darauf entdeckte ein anderer deutscher Physiker, Hallwachs, daß ein negativ geladener Leiter seine Ladung alsbald verliert, wenn er von der Strahlung getroffen wird, und ich selbst war in der glücklichen Lage, nachweisen zu können, daß diese Erscheinung nicht nur dann auftritt, wenn der elektrisierte Körper ein Dielektrikum ist, sondern sogar auch dann, wenn der Körper ohne elektrische Ladung ist, in welchem Falle er dann gleichfalls so lange negative Elektrizität verliert, bis auf seiner Oberfläche eine gewisse positive Elektrizitätsdichte erreicht ist.

Im allgemeinen werden die Erscheinungen nur durch die am stärksten brechbaren ultravioletten Strahlen hervorgerufen. An gewissen Körpern jedoch, wie an amalgamiertem Zink, oder noch besser an den Alkalimetallen, bringen auch die Lichtstrahlen

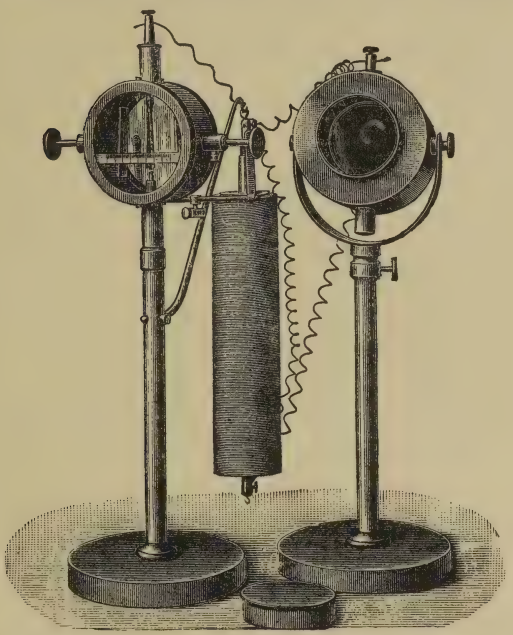

Fig. 4. Zerstreuungsapparat nach Elster und Geitel.

dieselbe Wirkung hervor, wie Elster und Geitel entdeckt haben.

Sie sehen hier (Figur 4) einen Apparat, den die genannten Physiker erfunden haben, um die in Rede stehende Erscheinung zu zeigen, ohne ultraviolette Strahlen zu Hilfe nehmen zu müssen. In diesem

Metallkasten, der eine mit einem Deckel versehene Öffnung besitzt, befindet sich eine kleine Glaskugel, die eine Natriumscheibe und einen Platindraht in einer Atmosphäre von verdünntem Wasserstoff enthält. Durch die hier angebrachten Klemmen bringe ich das Natrium in Verbindung mit dem negativen Pole einer Trockensäule und mit den Goldblättchen eines Elektroskops, dessen vergrößertes Bild Sie hier auf die Wand entworfen sehen. Gleichzeitig bringe ich den Platindraht mit dem positiven Pole und mit der Erde in Verbindung. Ich bedecke die Öffnung des Kastens und nähere der Glaskugel ein brennendes Zündholz. Sofort senken sich, wie Sie sehen, die Goldblättchen ein wenig. Ich nähere nunmehr dem Apparat eine Glühlampe, und Sie sehen, wie die beiden Blättchen fast augenblicklich in die senkrechte Lage zurückfallen.

Bei dieser Wirkung der Strahlung auf die Grenzfläche zwischen einem Metall und einem Gase haben wir es mit der Aussendung negativer Ionen zu tun, ohne daß indessen gleichzeitig, wenigstens unmittelbar, positive Ionen entstehen. Die ausgesandten negativen Teilchen könnten die eigentlichen Elektronen sein, und sind es auch zweifellos, wenn das Gas außerordentlich verdünnt ist, wie später Lenard nachgewiesen hat.

Eine weitere Ionisierungsursache besteht in dem Stoße bereits vorhandener Ionen gegen die neutralen

Moleküle des Gases. Diese Ursache nun bringt hauptsächlich die elektrischen Entladungen hervor, die ich hier eingehender zu behandeln beabsichtige.

Die Energie, welche erforderlich ist, um die Atome der Gasmoleküle zu ionisieren, kann natürlich als kinetische Energie oder lebendige Kraft geliefert werden. Nun ist aber eine bestimmte Energiemenge nötig, um von einem neutralen Atom das negative Elektron abzutrennen, und es ist daher einleuchtend, daß ein Ion, um durch seinen Anprall ein Atom ionisieren zu können, eine Geschwindigkeit besitzen muß, die nicht unterhalb eines gewissen Mindestwertes liegen kann.

Ein in einem elektrischen Felde befindliches Ion erhält unter dem Einfluß der auf es wirkenden elektrischen Kraft eine wachsende Geschwindigkeit. Diese Geschwindigkeit nimmt fortgesetzt zu, bis das Ion auf seinem Wege entweder ein anderes Ion trifft (mit dem es dann, wenn dieses das entgegengesetzte Vorzeichen hat, wieder ein neutrales Molekül bilden kann) oder ein Molekül. Durch den Anprall wird seine Geschwindigkeit im allgemeinen sehr verringert, aber alsbald beschleunigt die elektrische Kraft seine Bewegung von neuem, bis ein weiterer Zusammenstoß erfolgt, und so geht es weiter. Ist das elektrische Feld schwach, so ist die Geschwindigkeit der Ionen im Augenblick des Zusammenstoßes im allgemeinen nicht groß genug, um die getroffenen

Moleküle ionisieren zu können. Wenn aber das elektrische Feld stark genug wird, so tritt Ionisation durch Stoß ein, und die Anzahl der freien Ionen wächst schnell.

Aus der Gesamtheit der bekannten Tatsachen ergibt sich, daß die negativen Ionen eine geringere Weglänge brauchen als die positiven, um die Fähigkeit zu erlangen, durch Stoß zu ionisieren, und daß sowohl für die einen als auch für die anderen eine kleinere Weglänge genügt, wenn das getroffene Molekül sich nahe der Trennungsfläche zwischen dem Gase und einem Metalle befindet, als wenn es inmitten des Gases selbst ist.

Dies vorausgeschickt, kann man sich eine gewisse Vorstellung von dem Mechanismus der Entladung bilden, mag diese nun in einem stark verdünnten Gase erfolgen, oder die Gestalt eines Funkens annehmen, oder endlich als Büschel oder Sternchen am Ende einer elektrisch geladenen scharfen Spitze auftreten.

Wir wollen zuerst die Entladung in einer Röhre mit verdünntem Gase betrachten. In diesem Falle erfolgt die Ionisation durch Stoß hauptsächlich in zwei an die Kathode angrenzenden Gebieten, und zwar genau dort, wo man die beiden charakteristischen leuchtenden Schichten sieht, welche ich als erste negative Schicht (in Berührung mit der Kathode) und zweite negative Schicht oder Glimmlicht be-

zeichnet habe, und die voneinander durch den negativen Dunkelraum getrennt sind.

Im allgemeinen findet die Ionisation durch den Anprall von Ionen oder Elektronen gerade dort statt, wo das Gas leuchtend wird, und das ist leicht erklärlich, wenn man sich überlegt, daß die mit den Atomen verbundenen Elektronen infolge der Stöße schnelle Schwingungen annehmen und im Äther Wellen erzeugen müssen.

Daß diese beiden Ionisationsgebiete sich in der Nähe der Kathode ausbilden und nicht in der Nähe der Anode, ist eine Folge der bereits angedeuteten spezifischen Verschiedenheiten, die zwischen den beiden Ionengattungen bestehen.

Jedes dieser beiden Ionisationsgebiete liefert dem andern die zur Erzeugung der Ionisation nötigen Ionen. Die nahe der Kathode erzeugten Elektronen werden nämlich von dieser abgestoßen, und eben die unter ihnen, welche die größten Geschwindigkeiten erlangen, bilden die Kathodenstrahlen. Sie durchlaufen frei den negativen Dunkelraum und erhalten dabei die Geschwindigkeit, deren sie benötigen, um durch ihren Stoß die Ionisation der Gasmoleküle im Glimmlicht hervorzubringen. Die hier erzeugten positiven Ionen ihrerseits stürzen sich auf die Kathode zu und besitzen, wenn sie in deren unmittelbare Nähe kommen, eine Geschwindigkeit, die ausreichend ist, um die Gasmoleküle zu ionisieren und

dadurch neue Elektronen zu schaffen. Die positiven Ionen häufen sich dann um die Kathode herum an, woselbst beständig ein Teil von ihnen durch Wiedervereinigung mit negativen Elektronen neutralisiert wird. Wenn aber die Kathode Öffnungen hat, so können einige positive Ionen durch sie hindurchgehen, und diese bilden dann die Kanalstrahlen, die ich bereits zu erwähnen Gelegenheit hatte.

Inzwischen setzen nun die Elektronen, welche bis zum Glimmlicht gelangt sind und dort Ionisation erzeugt haben, ihren Weg, immer unter dem Einfluß der elektrischen Kraft, gegen die Anode hin fort, begleitet von neuen Elektronen, die sie durch ihren Anprall erzeugt haben. Ihre Geschwindigkeit wird größer und größer, bis sie imstande sind, das Gas zu ionisieren, das sie noch durchlaufen müssen, ehe sie an die Anode gelangen. Der Raum, den sie nach ihrem Austritt aus dem Glimmlicht durchlaufen müssen, ehe sie die zur Ionisierung erforderliche Geschwindigkeit erreichen, bleibt merklich lichtfrei und bildet den Faradayschen Dunkelraum. Je nach den Verhältnissen kann nun entweder die Ionisation sich von diesem Dunkelraum bis zur Anode erstrecken, oder aber die Elektronen können jenseits einer gewissen Strecke eine geringere Geschwindigkeit besitzen und müssen dann ihren Weg noch eine gewisse Strecke weit fortsetzen, ehe sie wieder Ionisation hervorrufen. Im ersten Falle haben wir

die positive Lichtsäule, die sich zwischen dem Faradayschen Dunkelraume und der Anode erstreckt; im zweiten Falle haben wir das bekannte geschichtete Licht.

Außer all diesem werden in allen Teilen der Röhre Zusammenstöße zwischen Ionen der beiden Arten erfolgen und infolgedessen auch wieder Neubildungen von Atomen und danach von neutralen Molekülen.

Endlich werden sich die frei gebliebenen Elektronen an der Anode ansammeln und in diese eindringen, um dann den Strom zu bilden.

Aus dieser Erklärung wird ersichtlich, wie der Vorgang, sobald er einmal eingeleitet ist, weiter verlaufen muß; es bleibt aber noch zu sagen, wie er beginnt. Zu diesem Zwecke brauchen wir uns nur gegenwärtig zu halten, daß ein Gas immer freie Ionen enthält. Außerdem steht es uns frei, anzunehmen, daß aus der Kathode, wenn sie stark geladen ist, Elektronen austreten, gerade wie solche aus einem von ultravioletten Strahlen getroffenen Metall austreten.

Ich werde mich bald öfters der Entladungen bedienen müssen, welche man in Luft von Atmosphärendruck aus einer elektrisch geladenen scharfen Spitze erhält, welcher als zweite Elektrode eine große leitende Fläche gegenübersteht. Wir müssen deshalb notwendig eine Vorstellung von dem Mecha-

nismus gewinnen, durch welchen solche Entladungen vermutlich gebildet werden.

Dieser Mechanismus ist dem eben beschriebenen sehr ähnlich. Es bilden sich auch hier zwei Ionisationsgebiete, in diesem Falle aber nur zwei. Diese liegen überdies stets ganz nahe an der Spitze, gleichgültig, welches das Vorzeichen ihrer Ladung sein mag. Der Grund hierfür liegt darin, daß gerade an der Spitze die elektrische Kraft ihre größte Intensität besitzt, und daß sich daher ein Ion nur eine sehr kurze Strecke weit zu bewegen braucht, damit es die nötige Geschwindigkeit gewinnt, um durch seinen Anprall neue Ionen erzeugen zu können. Die Ionen mit einer Ladung von gleichem Vorzeichen wie die der Spitze werden von dieser abgestoßen und ionisieren nach einer kurzen Bahn die von ihnen getroffenen Moleküle. Von den so erzeugten neuen Ionen eilen die mit entgegengesetzter Ladung ausgestatteten nach der Spitze hin und ionisieren die Luft in deren unmittelbarer Umgebung; die neuen Ionen mit gleichnamiger Ladung bewegen sich alle auf die ebene Elektrode zu. Da sie nun ein Gebiet durchwandern, wo das elektrische Feld wenig intensiv ist, so können sie im allgemeinen zwischen zwei aufeinanderfolgenden Zusammenstößen keine solche Geschwindigkeit annehmen, die sie befähigt, abermals Ionisation hervorzurufen.

Wenn man jedoch die Elektrizitätszufuhr zur

Spitze mehr und mehr beschleunigt, so tritt, besonders wenn die Spitze positiv geladen wird, der Fall ein, daß die von ihr abgestoßenen Ionen so große Geschwindigkeiten erlangen, daß sie fähig werden, an weiter und weiter von der Spitze entfernten Stellen Ionisation zu erzeugen. Es bildet sich dann ein länger und länger werdendes geschlängeltes Lichtband, welches sehr rasch Ort und Gestalt wechselt und den wohlbekannten Eindruck des Büschels hervorbringt. Dieses Lichtband kann sogar die der Spitze gegenüberstehende Elektrode erreichen und nimmt dann das Aussehen des Funkens an. Die gewöhnlichen Funken werden vermutlich durch einen ähnlichen Vorgang gebildet, es geht ihnen nämlich ein Vorbereitungsstadium vorauf, während dessen die Bewegung der Ionen schnell beschleunigt wird.

Das Vorhandensein dieses dem Auftreten des Funkens voraufgehenden Vorbereitungsstadiums habe ich bereits im Jahre 1876 durch Versuche nachgewiesen, die allem Anscheine nach allgemein unbeachtet geblieben sind. Diese Versuche bestehen in folgendem: Die Funken eines Kondensators, der durch eine Influenzmaschine kontinuierlich geladen wird, gehen zwischen zwei Metallelektroden (Spitze und Platte, kleine Kugel und Platte usw.) über. Diese Elektroden sind senkrecht untereinander in einem horizontalen elektrischen Felde ange-

ordnet, welches von zwei großen senkrechten parallelen Platten erzeugt wird, die ihrerseits durch eine zweite Influenzmaschine entgegengesetzt elektrisiert erhalten werden. Unter diesen Verhältnissen nehmen die Funken stark gekrümmte Gestalten an, während ihre Enden sich auf den Elektroden verschieben (besonders dann, wenn in den Entladungskreis ein hoher Widerstand eingeschaltet wird), und zwar ist dies eine Folge der Ablenkung, welche die in Bewegung befindlichen Ionen während der Vorbereitungsphase des Funkens erleiden.

Wenden wir uns nunmehr wieder der Entladung zwischen einer Spitze und einer großen Metallplatte zu, so ist durch das Gesagte festgestellt, daß von einem Punkt in geringer Entfernung von der Spitze bis zur gegenüberliegenden Elektrode im allgemeinen keine Ionisation vorliegt, sondern nur eine Bewegung von Ionen, deren Ladung mit der Ladung der Spitze gleichnamig ist. Es scheint beim ersten Anblick, als müsse ihre Bewegung im höchsten Maße unregelmäßig und verwickelt sein, weil durch die Zusammenstöße mit den neutralen Molekülen, die doch in der Luft bei gewöhnlichem Druck bei weitem häufiger sind als in einem verdünnten Gase, weil durch diese Zusammenstöße die Größe und Richtung ihrer Geschwindigkeit fast in jedem Augenblick geändert werden wird.

Indessen gewahren wir in der gesamten Bewe-

gung der Ionen eine wunderbare Ordnung. Das kommt daher, daß eben wegen der Häufigkeit dieser Zusammenstöße die Geschwindigkeit der Ionen im Mittel immer sehr klein bleibt; aus diesem Grunde bewegen die Ionen sich in jedem Augenblicke nahezu in der Richtung der auf sie wirkenden elektrischen Kraft. Mit anderen Worten: die von einer Spitze abgestoßenen Ionen müssen sich merklich längs der Linien elektrischer Kraft bewegen.

Diese meine Voraussage ist durch passende Versuche, welche schon ziemlich alt sind, deutlich bestätigt worden. Diese Versuche habe ich nämlich schon ersonnen, als die heutige Theorie noch nicht vorhanden war; diese Theorie paßt sich ihnen aber leicht an, ja noch mehr, sie bringt ihre Bedeutung noch besser ans Licht.

Der Versuch mit dem elektrischen Schatten in der Crookesschen Röhre, den ich Ihnen bereits vorgeführt habe, bildete den Ausgangspunkt für meine Untersuchungen. Zu der Zeit, da ich sie ausführte, hielt ich mit einigen anderen Physikern an der Ansicht fest, daß die Kathodenstrahlen durch die Bewegung von Gasmolekeln gebildet würden, die von der Kathode elektrisiert und von ihr abgestoßen würden, und ich glaubte, daß eine elektrisierte Spitze in freier Luft mittels der von ihr abgestoßenen elektrisierten Moleküle eine analoge Wirkung hervorrufen müßte. Nach meiner Ansicht mußte zwischen diesen

beiden Fällen nur der eine Unterschied bestehen, daß im zweiten Falle die elektrisierten Moleküle wegen ihrer häufigen Zusammenstöße mit denen des umgebenden Mediums stets eine sehr kleine Geschwindigkeit behalten und sich daher merklich längs der Kraftlinien bewegen mußten, statt, wie es

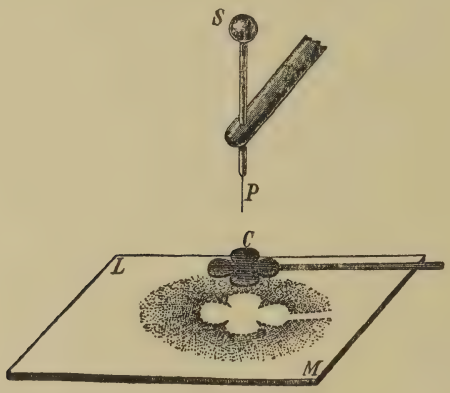

Fig. 5. Elektrischer Schatten in Luft.

SP in *P* mit scharfer Spitze endender Leiter; *I* isolierender Halter dieses Leiters, aus Ebonit; *C* Ebonitkreuz; *LM* Platte, auf welcher der Schatten entsteht.

der Fall sein mußte, wenn das Gas hochgradig verdünnt wird, längs gerader Linien.

Man sieht, man braucht nur statt der elektrisierten Moleküle die Ionen zu betrachten, um diese Auslegung mit der modernen Theorie in Einklang zu bringen. Man kann daher sagen, daß die Versuche mit dem elektrischen Schatten, die ich Ihnen hier zeigen will, meine Voraussage bestätigen, näm-

lich die regelmäßige und geordnete Bewegung der Ionen in Bahnen, die ganz oder nahezu mit den Linien elektrischer Kraft zusammenfallen.

III.

Hier haben wir einen ersten Versuch, welcher den Nachweis liefern wird für die Regelmäßigkeit und die Ordnung, die in der gesamten Bewegung der von einer elektrisierten Spitze ausgesandten Ionen herrschen. (Figur 5.) Die Spitze ist abwärts gerichtet und am unteren Ende eines isolierten Leiters befestigt, der oben in eine kleine Kugel endet. Darunter ist eine Metallplatte gelegt, und zwischen dieser und der Spitze ist ein kleines Kreuz aus Ebonit angebracht, dessen Ecken abgerundet sind.

Bewegen sich nun die von der Spitze abgestoßenen Ionen wirklich längs der Kraftlinien, so werden sie nicht alle die Platte treffen können, da ein Teil von ihnen von dem Kreuze aufgehalten wird. Wenn die Ionen die Platte beim Auftreffen leuchtend machen würden, wie die Elektronen das Glas in der Crookesschen Röhre leuchtend machen, so würde ohne weiteres der Schatten des Kreuzes erscheinen, und dieser Schatten würde ein wenig verzeichnet sein infolge des Umstandes, daß die Kraftlinien im allgemeinen gekrümmte Linien sind und nicht gerade Linien wie die Kathodenstrahlen. Da

nun aber ein solches Leuchten nicht eintritt, so mußte ich meine Zuflucht zu irgend einem anderen Kunstgriff nehmen, um den elektrischen Schatten des Kreuzes sichtbar machen zu können. Ich fand nun zunächst ein Mittel in der Verwendung des elektroskopischen Pulvers.

Dieses Pulver ist längst bekannt. Eine Art seiner Bereitung besteht darin, Schwefel und Mennige in fein gepulvertem Zustande zu mengen. Verteilt man mit Hilfe eines Blasebalges dieses Gemisch in der Nähe eines oder mehrerer elektrisierter Körper in der Luft, so trennen sich die beiden Pulver und bleiben an der Oberfläche dieser Körper haften, und zwar wird das Mennigpulver von den negativ elektrisierten Körpern festgehalten und das Schwefelpulver von den Körpern mit positiver Ladung. Dies erklärt sich leicht, wenn man weiß, daß die Mennig- und die Schwefelteilchen sich beim Austritt aus dem Blasebalg elektrisieren, und zwar erstere positiv und letztere negativ.

Ich lege nun auf die Metallplatte eine isolierende Platte, etwa diese Ebonitplatte, die auf ihrer Unterseite eine Stanniolbelegung trägt. Ehe ich sie aber an ihren Platz bringe, halte ich sie, wie Sie hier sehen, einige Zeitlang über eine Flamme, um die Feuchtigkeit, mit der sie vielleicht überzogen sein wird, und die elektrische Ladung, die sie zufällig besitzen könnte, zu entfernen.

Ich nehme nun diese kleine Leidener Flasche, die ich mit der Elektrisiermaschine geladen habe, und nähere die Kugel, in welche ihre innere Belegung (der ich eine negative Ladung erteilt habe) ausläuft, der oberen Kugel des mit der Spitze versehenen Leiters, bis zwischen beiden ein Fünkchen von etwa einem Zentimeter Länge überspringt, aber nicht mehr als eines. Es bleibt mir hiernach nur übrig, den elektrischen Schatten sichtbar zu machen, und zu diesem Zwecke ziehe ich die Ebonitscheibe zurück und zerstäube in die Luft in ihrer Umgebung das elektroskopische Pulver. Sie sehen, daß die Platte mit Mennige bedeckt wird, mit Ausnahme der Mitte, wo der Schatten des Kreuzes erscheint. (Figur 6.) Dieser Schatten ist jedoch nicht nur frei von Mennige, sondern auch mit Schwefel bedeckt; dieser Schwefel haftet dort indessen infolge der Anziehung durch die positive Ladung, welche durch Influenz in der Stanniolbelegung entstanden ist.

Ich kann Ihnen nicht all die vielen verschiedenen Figuren zeigen, welche man mit der beschriebenen Anordnung erreichen kann. Ich will nur erwähnen, daß sich, wenn die Spitze eine positive Ladung erhält, und wenn diese ziemlich schwach ist, daß sich dann eine Figur ergibt, die gewissermaßen das Negativ der Figur 6 ist, nämlich ein roter Schatten in einem gelben Felde. Wenn aber die positive

Ladung ziemlich stark ist, so bildet sich kein gleichmäßiges gelbes Feld, sondern es entstehen in großer Zahl die gelben verzweigten Sternchen, welche allbekannt und für die positive Entladung bei dem klassischen Lichtenbergschen Versuch charakteristisch sind. Diese Sternchen fehlen in dem Schatten, der seinerseits oftmals seltsam gezackt erscheint.

Dagegen verdient die Bildung von Schatten mit doppelten Umrissen, die von einer Art Hof umgeben sind, und die ich zusammengesetzte Schatten genannt habe (siehe Figur 7), besondere Erwähnung im Hinblick auf das eigenartige Aussehen, welches sie zeigen.

Die zusammengesetzten Schatten erhält ein wenig sorgfältiger Beobachter, wenn er an feuchten Tagen den Versuch ausführt, der den elektrischen Schatten liefern soll, und den ich Ihnen soeben vorgeführt habe. Damit nämlich ein zusammengesetzter Schatten (wie der in Figur 7 dargestellte) entsteht, braucht nur die Isolation des Leiters SP (Figur 5) unvollkommen zu sein und daher irgend welche Verbindung zwischen ihm und der auf der Unterseite der Ebonitscheibe angebrachten Metallbelegung zu bestehen. Will man also mit voller Sicherheit den zusammengesetzten Schatten erhalten, so braucht man nur zwischen diesen beiden Leitern eine schwache Verbindung herzustellen, etwa mittels einer mit destilliertem Wasser gefüllten Kapillarröhre oder

durch eine feuchte Schnur, oder sonst auf irgend eine Weise. Durch Probieren macht man dann den Widerstand dieser Verbindung mehr oder minder groß, bis man das günstigste Ergebnis erhält. Sobald man bei dieser Versuchsanordnung die Entladung von der Spitze zur Ebonitscheibe hervorgerufen hat, dadurch, daß man dem in die Spitze auslaufenden Leiter die Leidener Flasche nähert und ihm dadurch beispielsweise negative Elektrizität mitteilt, so wird die Ebonitscheibe wie ein Kondensator elektrisch geladen, und dieser Kondensator entlädt sich nun unmittelbar durch die beschriebene Verbindungsleitung, was dem Auftreten einer positiven Entladung von der Spitze zum Ebonit gleichkommt. Wäre das Ebonitkreuz nicht zwischengeschaltet gewesen, so wäre das Ergebnis der zweiten Entladung gewesen, unter der Spitze einen kreisförmigen, merklich ungeladenen Fleck zu lassen. Nur der unter der Spitze liegende Teil des Ebonits nämlich verliert in der geschilderten Weise die negative Elektrizität, die er während des ersten Teiles des Vorganges von der Spitze erhalten hat.

Es würde sich also eine ringförmige elektrische Figur bilden, zu deren Erklärung man nicht, wie dies von mancher Seite geschehen ist, den schwingenden Verlauf der Entladung heranzuziehen hat (der übrigens bei diesem Versuch gar nicht schwingend sein kann). Ist aber, wie wir angenommen haben,

das Kreuz vorhanden, so bildet sich sowohl durch die Hauptentladung wie durch die sekundäre Entladung sein Schatten ab. Diese beiden Schatten haben wegen der von dem Kreuze festgehaltenen Ladung, welche auf die in Bewegung befindlichen Ionen wirkt, nicht die gleichen Abmessungen, daher der doppelte Umriß und die Farben, die sie auf dieser vor dem Vortrage aufgenommenen Abbildung (Figur 7) sehen können. Bei starken positiven Entladungen erhält man nun zusammengesetzte Schatten mit Sternen und Verästelungen, die abwechslungsreiche und sehr eigenartige Wirkungen hervorbringen.

Auf ein anderes Verfahren, die elektrischen Schatten mittels der Entladung einer Spitze zu erhalten, will ich jetzt eingehen. Auf die Metallplatte, die unter der Spitze liegt, und die jetzt isoliert sein soll, lege ich statt des Ebonits ein weißes Papier, auf welches ich mittels eines feinen Siebes Metallstaub habe fallen lassen, so daß dieser eine leichte gleichmäßige Schicht bildet. Ich bringe jetzt die Spitze mit dem einen Konduktor der Elektrisiermaschine in Verbindung und die Metallplatte mit dem andern. Dann lasse ich die Maschine einige Augenblicke schwach arbeiten. Sie sehen, der Schatten ist aufgetreten und besteht aus einem Raume auf dem Papier, aus dem der Metallstaub vollkommen verschwunden ist.

Wie Sie bemerkt haben werden, habe ich, während

die Maschine arbeitete, die Metallplatte leicht mit einem Ebonitstab geklopft, um die Feilspäne zu erschüttern. Dadurch wurden sie für einen Augenblick frei von jeder Reibung und wurden nun von der Platte abgestoßen; dabei würden sie das Papier vollkommen frei lassen, wenn sie nicht von den von der Spitze ausgesandten Ionen getroffen würden. Diese neutralisieren ihre Ladung, so daß die Metallteilchen wieder auf das Papier zurückfallen und, statt von diesem weggetrieben zu werden, nur darauf tanzen. Der Teil des Papieres jedoch, der durch das Kreuz geschützt war, wurde sofort von dem Feilicht frei, und so erschien der Schatten, den Sie noch sehen, und den man festhalten kann, wenn man eine Gummilösung darauf zerstäubt.

Um die Wahrheit zu sagen, beweisen die Versuche, die ich Ihnen gezeigt habe, allerdings, daß die Ionen sich in geordneter Weise längs gewisser krummliniger Bahnen bewegen, aber nicht, daß diese Bahnen auch merklich mit den Kraftlinien zusammenfallen. Um den Beweis zu vervollständigen, braucht man die Versuchsanordnung nur ein wenig abzuändern, so daß man Kraftlinien von bekannter Gestalt erhält. Man kann beispielsweise zu zylindrischen Systemen mit kreisförmigen Kraftlinien übergehen. Statt der Spitze verwendet man dann einen langen und sehr dünnen Metalldraht, der parallel zu der Platte verläuft, und der sich seiner ganzen

Länge nach wie eine Spitze verhält. In diesem Falle sind die Kraftlinien Kreisbogen, die in senkrecht zum Draht durch diesen gelegten Ebenen liegen. Dann kann man leicht vorher die Stelle der Platte bestimmen, an welcher sich der Schatten eines Objektes abbilden muß, das zwischen sie und den Draht gebracht wird, unter der Voraussetzung, daß die Linien, welche diesen Schatten entwerfen, eben diese Kreisbogen sind, und man kann alsdann, nachdem man den Versuch ausgeführt hat, sehen, ob das Ergebnis mit der Vorhersage übereinstimmt. In der Tat tritt diese Übereinstimmung in durchaus befriedigendem Maße ein.

Ich will nun eine Abänderung erwähnen, die ich kürzlich an diesem Versuche vorgenommen habe. Ebenso wie die von der Spitze abgestoßenen Ionen in bezug auf die Erzeugung elektrischer Schatten die Kathodenstrahlen nachahmen, erreicht man mit der neuen Anordnung, daß sie die sogenannten Kanalstrahlen nachahmen. Dazu genügt es, die der Spitze gegenübergestellte leitende Platte durch ein ganz feines Metallnetz zu ersetzen. Dann gelangen einige von den Ionen, welche die elektrische Kraft von der Spitze zum Drahtnetz hin wandern läßt, mit solcher Geschwindigkeit in die Nähe der Löcher, daß sie in ihrer Bewegung weit genug von den Kraftlinien abweichen und durch die Löcher selbst hindurchgehen. Der Mechanismus dieses Vorganges

ist also ähnlich dem, welcher die Kanalstrahlen hervorbringt. Mit Hilfe eines Elektrometers kann man leicht jenseits des Netzes das Vorhandensein der hindurchgegangenen Ionen feststellen.

Es bleibt indessen zwischen diesem Versuch und dem mit den Kanalstrahlen ein Unterschied bestehen, daß nämlich im ersten Falle die Geschwindigkeit der in Bewegung befindlichen Ionen viel kleiner ist als im zweiten, mit Rücksicht auf den verschiedenen Gasdruck. Sie verbreiten sich daher, nachdem sie durch die kleinen Öffnungen des Netzes hindurchgegangen sind, in der Luft und sind nicht imstande, Schatten zu erzeugen. Man braucht aber nur ein anderes elektrisches Feld zwischen dem Netz und einem weiter auf der anderen Seite angebrachten Leiter zu erregen, das dem zwischen dem Netz und der Spitze vorhandenen gleichgerichtet ist, damit diese Ionen eine geordnete Bewegung längs der Kraftlinien des neuen Feldes annehmen und zur Schattenbildung Anlaß geben können.

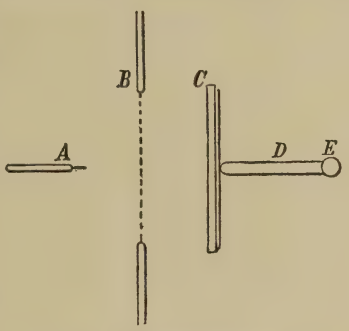

Fig. 8. Versuchsanalagon zu den Kanalstrahlen.

A Metallspitze; *B* Metallnetz, zur Erde abgeleitet; *C* Ebonitscheibe; *DE* mit der Metallbelegung der Ebonitscheibe verbundener Konduktor.

Sie sehen hier das für einen derartigen Versuch Erforderliche (siehe Figur 8). Der Spitze gegen-

über steht ein mit der Erde verbundenes metallisches Drahtnetz und weiterhin eine zum Netz parallele Ebonitscheibe mit einer Metallbelegung, die ihrerseits mit einem in eine Kugel endenden Leiter verbunden ist.

Während die Elektrisiermaschine die Spitze positiv geladen erhält, lasse ich nun zwischen der bereits benutzten kleinen Leidener Flasche, die negativ geladen ist, und der Kugel, in welche der mit der Belegung der Ebonitscheibe verbundene Leiter ausläuft, einen Funken überspringen. Alsdann streue ich auf die Ebonitscheibe das elektroskopische Pulver. Wie Sie sehen, bleibt das Schwefelpulver an der Ebonitscheibe haften und bildet dort eine Reihe kleiner Quadrate von gleicher Größe und Verteilung wie die Öffnungen im Drahtnetz (siehe Figur 9).

Dieses Ergebnis rührt offenbar von den positiven Ionen her, die von der Spitze abgestoßen werden und, nachdem sie durch die Öffnungen des Netzes hindurchgegangen sind, gegen die Ebonitscheibe hin wandern und dabei merklich den Kraftlinien folgen.

Die Teilchen des elektroskopischen Pulvers könnten, während sie sich unter dem Einfluß der elektrischen Kraft in der Luft bewegen, um sich schließlich an die elektrisierten Körper anzuheften, dazu dienen, ein materielles Bild der Ionenbewegung

zu geben. Jedes Pulverkörnchen, das sich in der Luft zu bewegen gezwungen ist und diese fortwährend verdrängen muß, erleidet von ihrer Seite einen solchen Widerstand, daß seine Geschwindigkeit immer verhältnismäßig klein bleibt, und dies ist der Grund dafür, daß die von ihm durchlaufene Bahn eine krumme Linie ist, welche nur wenig von der durch seinen Ausgangspunkt gehenden Kraftlinie abweicht.

Es ist übrigens zweckmäßig, die Bildung von Figuren mittels elektroskopischen Pulvers immer in dieser Weise zu betrachten, wenn man nicht in eine irrtümliche Auffassung verfallen will. Derselbe elektrische Schatten, den ich vorher (Figur 6) vor Ihren Augen erzeugt habe, kann hierfür als Beispiel dienen. Wie wir gesehen haben, bleibt das Schwefelpulver im Schattengebiet haften, als ob daselbst das Ebonit eine positive Ladung besäße, während es in Wirklichkeit entladen ist oder eine ganz schwache negative Ladung besitzt. Man braucht sich nun nur die Bewegung der Mennig- und der Schwefelteilchen in der Luft vorzustellen, um den Vorgang zu verstehen.

Die Pulverteilchen, welche an die Ebonitoberfläche gelangen, stehen unter dem Einfluß einer elektrischen Kraft. Diese ist die Resultierende einerseits aus der Kraft, die von der auf dem Ebonit angesammelten negativen Elektrizität aus-

geht, andererseits von der Kraft, die von der positiven Ladung ausgeht, welche durch Influenz auf der an der gegenüberliegenden Fläche angebrachten Belegung entstanden ist. Wenn die in Rede stehenden Teilchen nicht den Schattenbereich berühren, so überwiegt die erste dieser beiden Kräfte. Daher werden die negativen Schwefelteilchen abgestoßen und die Mennige angezogen, und die einen wie die anderen bewegen sich merklich längs der Kraftlinien. Die Schwefelteilchen entfernen sich also von dem Ebonit, während die Mennigteilchen zum Ebonit hineilen und daran haften bleiben.

Betrachtet man hingegen die Pulverteilchen, welche an den Schattenbereich herankommen, also dorthin, wo es auf dem Ebonit an negativer Ladung wegen deren geringer Dichte mangelt, so überwiegt eben die zweite Komponente. Es eilen infolgedessen die Schwefelteilchen und nicht die Mennigteilchen zum Ebonit hin, wobei sie merklich den Kraftlinien folgen, und bleiben dann infolge ihrer eigenen Ladung dort haften.

Daß die elektrisierten Staubteilchen sich in einem elektrischen Felde wirklich längs der Kraftlinien bewegen müssen, ist eine Folge davon, daß die Geschwindigkeit dieser Teilchen wegen des Luftwiderstandes immer sehr klein bleibt. Man kann dies durch gewisse Versuche zeigen, welche von

dem bekannten Versuch mit dem elektrischen Schatten nur dadurch verschieden sind, daß bei ihnen der Schatten nicht durch die Bewegung von Ionen, sondern durch die Bewegung von Staubteilchen längs der Kraftlinien erzeugt wird. Sie sehen hier einen derartigen Versuch.

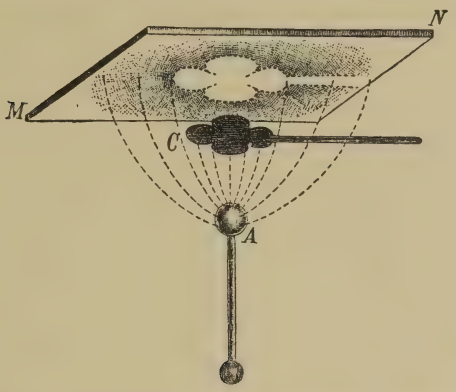

Fig. 10. Durch die Bewegung elektrisierten Pulvers erzeugter Schatten.

A isolierte Kugel, auf die das Pulver aufgetragen wird; *C* Ebonitkreuz; *MN* Metallplatte, an deren Unterseite der Schatten entsteht.

Oberhalb dieses senkrechten beiderseits in Kugeln endenden Leiters (siehe Figur 10) bringe ich das bekannte kleine Ebonitkreuz an und noch weiter oberhalb eine mit dem Erdboden verbundene Metallplatte. An die Unterseite dieser Platte hefte ich ein Stück Papier, das beiderseits mit einer Gummilösung bestrichen ist. Ich bringe auf die unter dem Ebonitkreuz angeordnete Metallkugel ein klein wenig

von diesem schwarzen Pulver, das nichts weiter ist als feingepulvertes Eisen. Dann berühre ich die Kugel mit der geladenen Leidener Flasche.

Sie sehen den Erfolg: Auf dem Papier hat sich ein Schatten des Kreuzes gebildet, denn das Papier ist an den Stellen, die durch das Kreuz geschützt waren, nicht geschwärzt worden. Hätte ich während des Versuches die Luft zwischen der Kugel und der Platte kräftig mit einem Lichtbündel aus der Bogenlampe beleuchtet, so hätten die mir zunächst Sitzenden unter Ihnen deutlich die krummlinigen Bahnen sich abheben gesehen, welche die von der Kugel abgestoßenen und von der Platte angezogenen Pulverkörnchen durcheilen.

Dieselbe Ordnung, die, wie wir gesehen haben, in der Bewegung der von einer elektrisierten Spitze erzeugten Ionen herrscht, herrscht auch überall unter analogen Verhältnissen, gleichviel durch welche Ursache die Ionen entstanden sein mögen.

In allen Fällen weichen die von ihnen durchlaufenen Bahnen sehr wenig von den Kraftlinien ab. Ich habe dies nachgewiesen für den Fall, daß die Ionen von einer elektrisierten Flamme, oder von einem glühenden und elektrisch geladenen Platindraht, oder von einem negativ elektrischen und von ultravioletten Strahlen getroffenen Körper ausgesandt werden, sowie auch sonst, wenn die Ionen beider Gattungen durch die Wirkung der Röntgen-

strahlen oder der von radioaktiven Körpern ausgesandten Strahlen in der Luft erzeugt werden. Ich will Ihre große Geduld nicht allzusehr mißbrauchen und werde mich daher darauf beschränken, Ihnen den Beweis dafür nur an zweien der eben genannten Fälle vorzuführen.

Ich habe hier eine Art großer Laterne. Darin befindet sich eine elektrische Bogenlampe. Diese unterscheidet sich indessen von den gewöhnlichen Bogenlampen dadurch, daß die positive Kohle hier durch einen dicken Zinkdraht ersetzt ist. Dadurch wird eine nicht sehr helle, aber an ultravioletten Strahlen außerordentlich reiche Strahlung erzeugt. Weil das Zink nun sehr rasch verbraucht wird, so wird der Zinkdraht durch ein Getriebe so bewegt, daß er beständig der negativen Kohle genähert wird. Den dichten Rauch, der bei der Verbrennung des Zinks entsteht, lasse ich durch ein langes Schornsteinrohr, welches zum Fenster hinausführt, aus der Laterne entweichen; in diesem Schornsteinrohr brennt eine große Gasflamme, die den erforderlichen Luftzug erzeugen soll.

Die Strahlen treten aus der Laterne durch ein Fenster aus, welches mit einer Quarzplatte verschlossen ist. Sie fallen dann auf eine geneigte Zinkplatte, so daß sie diese auf ihrer ganzen Oberfläche treffen, während über ihr eine Ebonitplatte angeordnet ist, die auf ihrer Außenseite eine zur

Erde abgeleitete Metallbelegung trägt (siehe Figur 11). Ich nehme die Zinkplatte und putze sie kräftig mit Schmirgelpapier. Dann zeichne ich auf sie mit einem in Harzfirnis getauchten Pinsel verschiedene Buchstaben. Dabei achte ich darauf, dies

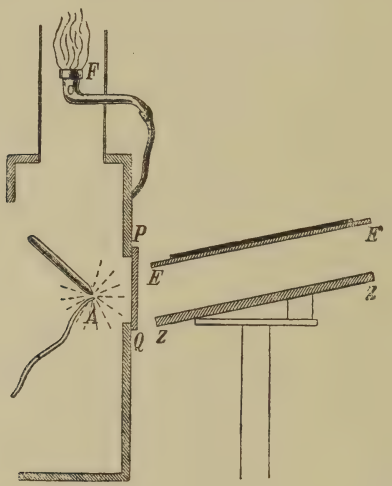

Fig. 11. Versuch über die Bewegung der durch Strahlung erzeugten Ionen.

A Strahlungsquelle; *F* Zugflamme; *PQ* Quarzplatte; *ZZ* Zinkscheibe; *EE* an der Oberseite mit Stanniol belegte Ebonitplatte.

verkehrt herum zu tun, als wenn ich auf eine lithographische Platte schreiben würde. Ich nehme nun die Ebonitplatte und ziehe sie, wie gewöhnlich, über eine Flamme hin. Dann bringe ich sie an ihren Platz und verbinde ihre Belegung mit dem Erdboden.

Nachdem ich so alle Vorbereitungen getroffen

habe, lade ich die Zinkplatte mit der Elektrisiermaschine negativ und halte sie etwa eine Minute lang auf niedrigem Potential, während ich die ultraviolette Strahlung auf sie fallen lasse. Ich ziehe nun die Ebonitplatte zurück und streue das bekannte Gemisch von Schwefel und Mennige darauf. Sie sehen Alle, wie das Ebonit sich mit Mennige überzieht, wie aber auf diesem roten Grunde ein getreues Bild der Schriftzüge in Gelb erscheint, die ich auf das Zink gezeichnet hatte.

Sie haben wohl schon Alle erfaßt, wie diese Erscheinung zustande gekommen ist. Unter dem Einfluß der Strahlung verliert das Zink seine negative Ladung, indem negative Ionen von ihm fortgehen, die sich längs der Kraftlinien bewegen. Diese Kraftlinien sind im vorliegenden Falle nichts anderes als die beiden Belegungen des aus der Zinkplatte und dem auf die Ebonitplatte aufgeklebten Stanniolblatt gebildeten Kondensators gemeinsamen Normalen. Jedes Ion befördert daher die negative Elektrizität genau nach dem Punkte der Ebonitplatte, der dem Punkte der Zinkplatte gegenüberliegt, von welchem es ausgegangen ist.

An den Stellen aber, wo die Metallplatte von dem Firnis bedeckt ist, tritt die Erscheinung nicht auf, oder sie findet nur in sehr geringem Maße statt. Daher bleibt die Ebonitplatte an den Stellen von Mennige frei, die den auf die Zinkplatte ge-

schriebenen Buchstaben gegenüberliegen. Der Schwefel, der sich dort festsetzt, rührt, wie gewöhnlich, von der Ladung her, die sich auf dem Stanniol durch Influenz seitens der negativen Ladung gebildet hat, welche der größere Teil der Ebonitplatte besitzt.

Auch in diesem Falle kann man den Versuch so anordnen, daß man kreisförmige Kraftlinien erhält. Beispielsweise benutzt man einen langen negativ geladenen Zylinder, der auf seiner ganzen Oberfläche, ausgenommen längs einer seiner Erzeugenden, mit Firnis überzogen ist, und läßt darauf die ultraviolette Strahlung fallen, während er parallel zu einer großen geerdeten Platte angeordnet ist.

Um nun den Versuch noch genauer zu gestalten, kann man, statt der Metallplatte eine Ebonitplatte gegenüberzustellen und elektroskopisches Pulver anzuwenden, auf andere Weisen vorgehen, wie ich das auch im Verlaufe meiner Untersuchungen getan habe.

Eine dieser Methoden, die ich Ihnen vor allen Dingen zeigen möchte, besteht in folgendem: Nahe der Oberfläche der Metallplatte und in sehr geringem Abstande von ihr sind eine Anzahl zu dem Zylinder parallele Metalldrähte isoliert ausgespannt, die der Reihe nach mit einem empfindlichen Elektrometer verbunden werden können. Es ist dann leicht zu übersehen, welcher dieser Drähte die von

der ungefirnißten Erzeugenden des Zylinders ausgehenden Ionen empfängt, und wieviel Elektrizität er auf diese Weise in der Zeiteinheit erhält. Auf diese Weise kann man sich dann davon überzeugen, ob die Bewegung dieser Ionen wirklich längs der Kraftlinien vor sich geht. Diese Versuchsanordnung bietet aber den Vorteil, daß man sie auch in einem abgeschlossenen Raume anwenden und in diesem den Luftdruck verändern kann.

Hier sehen Sie den Apparat (siehe Figur 12 und 13), den ich vor ungefähr 14 Jahren konstruiert habe. Seine wesentlichen Teile sind in ein großes Becherglas eingeschlossen, dessen Öffnung durch eine Quarzplatte verschlossen wird, durch welche die ultraviolette Strahlung eintreten und den nicht mit Firnis überzogenen Streifen längs einer Erzeugenden des negativ elektrisierten Zinkzylinders treffen kann.

Ich habe nun nacheinander mit dem Elektrometer die Ladung gemessen, welche jeder der zehn Metalldrähte in einer bestimmten und konstanten Zeit — beispielsweise in zehn Sekunden — erhält. Dabei habe ich denn gefunden, daß, wenn das Gefäß Luft von Atmosphärendruck enthält, daß dann die negativen Ionen fast ausschließlich von dem Drahte aufgenommen werden, in dem die Kraftlinien enden, die der Erzeugenden des Zylinders entsprechen, von welcher die Ionen ausgehen, daß da-

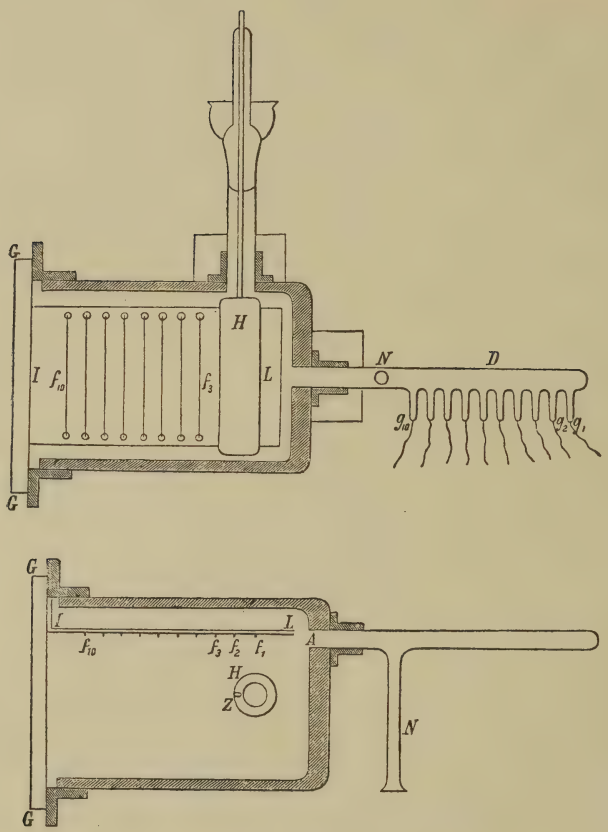

Fig. 12 und 13.

GG Quarzplatte; *H* gefirnißter Zylinder; *Z* nicht gefirnißte Erzeugende; $f_1, f_2, \ldots f_{10}$ isolierte parallel zur geerdeten Metallplatte *IL* und in geringem Abstand von ihr ausgespannte Metalldrähte; $g_1, g_2, \ldots g_{10}$ in das Glasrohr *D* eingeschmolzene mit $f_1, f_2, \ldots f_{10}$ verbundene Drähte; *N* Verbindungsrohr zur Luftpumpe.

gegen die übrigen Drähte nur sehr geringe Ladungen erhalten, und zwar um so geringere, je weiter sie von dem eben bezeichneten Drahte entfernt sind. Verdünnt man aber das Gas mehr und mehr und wiederholt dabei die Messungen, so ändert sich das Ergebnis in interessanter Weise. Wenn die Ladung des Zylinders nicht sehr stark und die Verdünnung nicht sehr weit getrieben ist, so beschränkt sich die Wirkung der letzteren auf folgendes: Der Draht, welcher mit der Erzeugenden durch die Kraftlinien verbunden ist, ist immer der, welcher die größte Ladung erhält; aber die übrigen Drähte erhalten auch eine stärkere Ladung als im vorhergehenden Falle. Man kann gewissermaßen sagen, daß das ausgesendete Ionenbündel breiter und diffuser geworden ist, was die natürliche Folge der Verdünnung ist. Infolge dieser Verdünnung erfolgen nämlich die Stöße der in Bewegung begriffenen Ionen gegen die Gasmoleküle weniger häufig, und infolgedessen treten die verschiedenen Richtungen ihrer Bewegung zutage. Bei sehr starken Verdünnungen ist jedoch der Draht, welcher die stärkste Ladung empfängt, nicht mehr der, welchem die Kraftlinien entsprechen, sondern ein weiter von dem Zylinder entfernter.

Die Linien, welche die Ionen durchlaufen, sind also weniger stark gekrümmt als die Kraftlinien und zeigen das Bestreben, in gerade Linien überzugehen.

Die Versuche zeigen dies besonders gut, wenn man nicht nur die Verdünnung bis auf das Äußerste fortsetzt, sondern auch den Zylinder stark lädt, so daß die jedem Ion durch die elektrische Kraft erteilte Geschwindigkeit sehr groß wird gegenüber der Geschwindigkeit, welche es infolge seiner Wärmebewegung in dem Augenblicke besitzt, in welchem es von dem elektrisierten Zylinder fortgeht.

Zusammenfassend kann man sagen, daß man bei fortschreitender Verdünnung einen allmählichen Übergang von dem Falle hat, wo die Ionen merklich den Kraftlinien folgen, bis zu dem Falle, wo sie sich bewegen wie die Elektronen, welche die Kathodenstrahlen bilden.

Lenard hat übrigens später nachgewiesen, daß die negativen Ionen, welche ein von der Strahlung getroffenes und in einem sehr stark verdünnten Gase befindliches Metall aussendet, daß diese Ionen nichts weiter sind als Elektronen, identisch mit denen, welche die Kathodenstrahlen bilden.

Zum Schlusse möchte ich Sie noch über die Ionen unterhalten, welche durch die Röntgenstrahlen erzeugt werden. Dieser Fall weicht von den bisher untersuchten insofern ab, als hierbei gleichzeitig positive und negative Ionen mitspielen. Trotzdem aber können die Versuche, durch welche dargetan werden soll, daß die Ionen merklich den Kraftlinien folgen, trotzdem können diese Versuche denen, die ich

Ihnen bereits gezeigt habe, einigermaßen ähnlich werden.

Hier sehen Sie einen solchen Versuch (siehe Figur 14). Ich habe hier eine wagerecht angeordnete Metallplatte, auf welche ich später die Ebonitscheibe legen werde, und darüber einen kugelför-

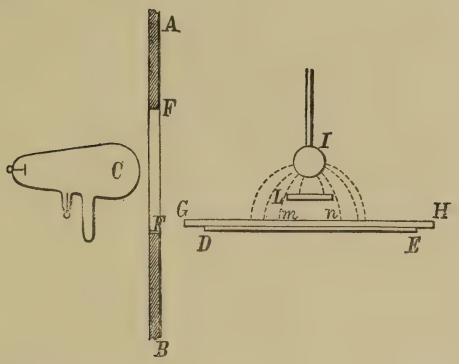

Fig. 14. Elektrischer Schatten in Luft, die durch Röntgenstrahlen ionisiert ist.

C Röntgenröhre; *AB* Metallscheibe mit dem durch ein Aluminiumblättchen verschlossenen Fenster *FF*; *GH* Ebonitscheibe; *DE* deren Belegung; *I* elektrisierter Konduktor; *L* Gegenstand, der Schatten werfen soll; *mn* Stelle, wo der Schatten entsteht.

migen Leiter. Zwischen beide wird unser bekanntes Ebonitkreuz gebracht, das zur Erzeugung des Schattens dienen soll. Seitlich davon stelle ich eine Röntgenröhre auf, welche ich mit dem Ruhmkorffschen Induktorium betreibe.

Die Röntgenstrahlen werden die Luft zwischen der Kugel und der Platte durchlaufen und in ihr Ionen beider Arten erzeugen, obschon sie vorher

dieses Aluminiumblech durchdringen müssen, welches die in einer großen senkrecht aufgestellten Bleiplatte ausgesparte Öffnung verschließt. Die Bleiplatte hat den Zweck, die Hauptteile des Apparates gegen die elektrischen Einflüsse von seiten der Röntgenröhre zu schützen.

Ich lasse in gewohnter Weise das Ebonit von einer Flamme belecken und bringe es dann an seinen Platz unter dem kleinen Kreuz. Darauf lasse ich einige Sekunden lang die Röhre wirken, während die Metallplatte und die Kugel mit den beiden Konduktoren der langsam laufenden Elektrisiermaschine verbunden sind.

Ich streue nun das Pulver auf die Ebonitplatte, und Sie sehen, wie der Schatten des Kreuzes erscheint, als wenn an Stelle der Kugel eine scharfe Spitze zur Anwendung gelangte.

Ersetzt man die Kugel durch einen zur Platte parallelen Zylinder, so werden aus den Kraftlinien die bekannten Kreisbogen, und der elektrische Schatten liefert durch seine Gestalt und seine Lage den Beweis für die bereits mehrfach behauptete Tatsache. Ersetzt man hingegen die Kugel durch eine Metallplatte, die parallel zu der Platte angeordnet wird, auf der das Ebonit liegt, und unter welcher man noch eine isolierende Platte anbringt, so gibt ein dazwischen gebrachter Körper zur Entstehung zweier elektrischer Schatten Anlaß, und

zwar entsteht ein Schatten auf der unteren Platte und der andere auf der oberen. Sie zeigen natürlich entgegengesetzte Färbung und rühren von der Bewegung der Ionen der beiden Arten nach den beiden entgegengesetzten Richtungen her.

Ich zeige Ihnen nun noch einen letzten Versuch,

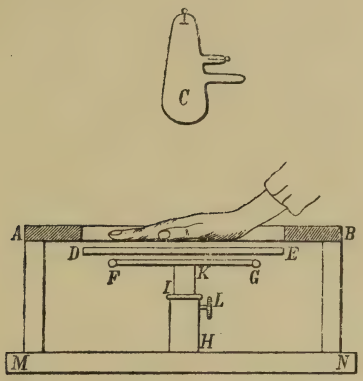

Fig. 15. Mit Röntgenstrahlen erhaltener Schatten der Hand.

C Röntgenröhre; *AB* Rahmen für die Aluminiumplatte, auf welche die Hand gelegt wird; *FG* von einem Isolator *IK* getragene Metallplatte; *DE* Ebonitscheibe, welche auf *FG* liegend zu denken ist; *MN* Grundplatte des Apparates.

der dem vorigen im Grunde analog, aber in der Weise kombiniert ist, daß durch ihn auch die verschiedene Durchlässigkeit der verschiedenen Körper für die Röntgenstrahlen veranschaulicht wird (siehe Figur 15).

Die Ebonitscheibe liegt auf einer isolierten rechteckigen Metallplatte, welche später mit einem der

beiden Konduktoren der Elektrisiermaschine, und zwar mit dem negativen, verbunden wird. Oberhalb der Platte und parallel zu ihr liegt eine mit dem Erdboden verbundene Aluminiumplatte. Ich erhalte so eine Art Kondensator, den ich der Wirkung der Röntgenröhre aussetzen will.

Würde ich bei dieser Versuchsanordnung die Röhre in Betrieb setzen und gleichzeitig die untere Platte negativ laden, so würde ich nach einiger Zeit, wenn ich das Pulver auf die Ebonitplatte streuen würde, sehen, daß sie sich ganz mit Schwefel überzieht. Das erklärt sich leicht auf folgende Weise.

Die Röntgenstrahlen dringen durch die Aluminiumscheibe und ionisieren die Luft zwischen dieser und dem Ebonit. Die positiven Ionen werden sich dann auf letztere zu bewegen und sie eben mit positiver Elektrizität laden.

Ich werde aber den Versuch nicht einfach in dieser Weise anstellen. Ich will vielmehr meine ausgestreckte Hand auf die Aluminiumscheibe legen. Die Röntgenstrahlen werden mit verminderter Intensität durch sie hindurchgehen, und aus diesem Grunde wird der Transport positiver Elektrizität von der Aluminiumplatte zur Ebonitplatte unterhalb der Hand schwächer werden. Diese Verringerung der Ladung des Ebonits wird auch an den Stellen ausgeprägter sein, welche den Knochen entsprechen, die, wie allbekannt, für die Röntgenstrahlen undurch-

lässiger sind als die übrigen Teile der Hand. Wir werden dann sehen müssen, daß auf dem Ebonit inmitten des gelben Grundes ein Bild der Hand erscheint; dieses Bild wird aber nicht aus Teilen der Ebonitplatte mit geringeren Schwefelmengen bestehen, sondern vielmehr aus Teilen, die mehr oder weniger stark mit Mennige bedeckt sind, und zwar aus dem bereits bekannten Grunde.

Ich schreite nun zu dem Versuche, den ich etwa eine Minute dauern lasse. Ich streue jetzt das Pulver auf, und Sie sehen das vorausgesagte Ergebnis mit aller Treue auftreten. Sie sehen nämlich alle ein rotes Bild der Hand auf gelbem Grunde, und Sie sehen darin sicher die Gestalt der Knochen sich in einem kräftigeren roten Tone abheben (siehe Figur 16).

Würde ich diesen letzten Versuch vor Ihnen wiederholen und dabei an die Stelle der Hand diesen verschlossenen Reißzeugkasten bringen, so würde ich auf der Ebonitplatte ein Bild in Rot von den Zirkeln erhalten und aus ihm entnehmen können, daß diese Gegenstände in dem Kasten enthalten sind, falls ich es etwa nicht bereits wüßte.

Dieser Versuch, den ich der vorgerückten Stunde wegen nicht ausführe, und der Versuch mit dem Schatten der Hand, den ich Ihnen vor wenigen Augenblicken gezeigt habe, liefern sicherlich nicht so scharfe und deutliche Bilder, wie wir sie bei der

gewöhnlichen Radiographie erhalten. Ich habe sie nur deshalb erwähnt, weil sie nicht minder gut als die voraufgegangenen Versuche zur Verdeutlichung der wesentlichen Eigenschaften der Ionenbewegung in gewöhnlicher Luft dienen können, und darin eben bestand einer der Hauptzwecke dieses Vortrages.

Ich weiß nicht, inwieweit es mir gelungen ist, Ihnen eine Vorstellung von dem Mechanismus der Entladungen in einigen Spezialfällen zu geben, das heißt von der Art und Weise, wie diese durch die in Bewegung befindlichen Ionen zustande kommen. Immerhin schmeichle ich mir, daß meine, wenn auch noch so unvollkommenen Erklärungen Sie jedenfalls von der großen Bedeutung überzeugt haben, welche der Elektronentheorie zukommt, und von der Leichtigkeit, mit welcher sie uns ein Modell der verschiedenartigsten elektrischen Vorgänge zu liefern vermag. Von dieser Zuversicht beseelt, danke ich Ihnen, meine Herren, für die freundliche Aufmerksamkeit, mit der Sie mir zugehört haben.

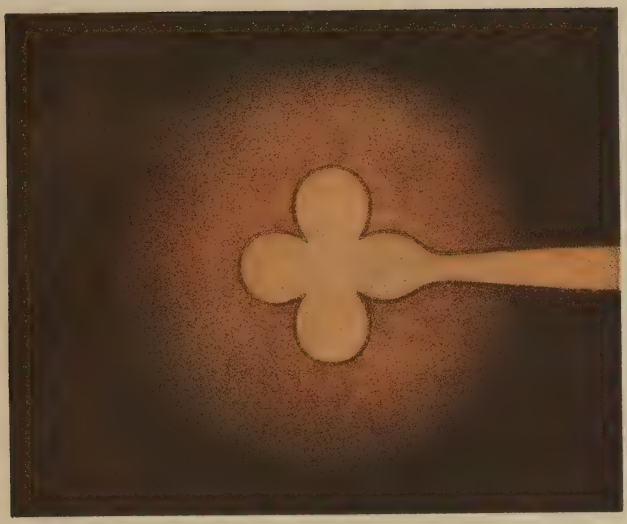

Fig. 6: Mit elektroskopischem Pulver bei der in Fig. 5 dargestellten Versuchsanordnung erhaltener Schatten. Ungefähr halbe natürliche Grösse.

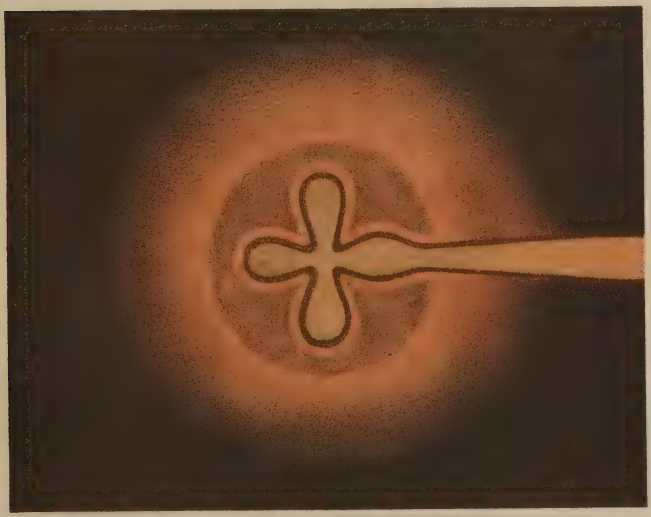

Fig. 7: Zusammengesetzter Schatten. Ungefähr halbe natürliche Grösse.

Verlag von Johann Ambrosius Barth in Leipzig Lith. Anst. v. Johannes Arndt, Jena

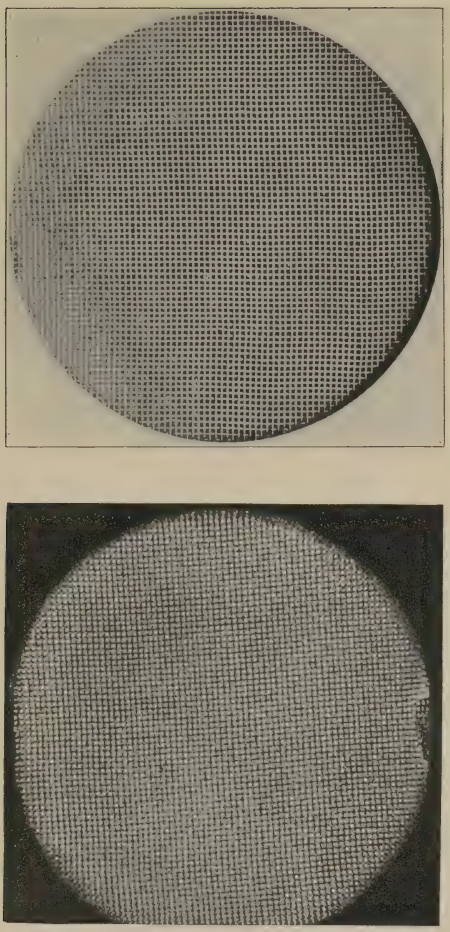

Fig. 9. Mit der in Fig. 8 dargestellten Versuchsanordnung hervorgebrachte elektrische Figur.

Der obere Teil der Photographie — etwa halbe natürliche Größe — zeigt das Metallnetz, der untere Teil die Ebonitplatte mit dem vom Schwefelpulver erzeugten Schattenbilde.

Fig. 16. Elektrischer Schatten der Hand, mit der in Fig. 15 dargestellten Versuchsanordnung aufgenommen. Ungefähr 2/5 natürliche Grösse.

Verl. g. von Johann Ambrosius Barth in Leipzig Lith. Anst. v. Johannes Arndt.

VERLAG VON JOHANN AMBROSIUS BARTH IN LEIPZIG

Früher erschien:

Die moderne Theorie
der
physikalischen Erscheinungen

(Radioaktivität, Ionen, Elektronen)

von

AUGUSTO RIGHI

ordentlicher Professor an der Universität Bologna.

Aus dem Italienischen übersetzt von *B. Dessau,* außerordentl. Professor an der Universität Perugia.

VIII, 152 Seiten. Mit 17 Abbildungen. 1905.
Gebunden M. 2.80.

Beiblätter zu den Annalen der Physik. Der Verfasser hat es verstanden, die modernen Theorien über Ionen und Elektronen in allgemeinverständliche Form zu bringen und auch den Nichtphysiker mit den oft so schwierigen Untersuchungsmethoden vertraut zu machen. — Im Kapitel „Radioaktivität" werden die Eigenschaften radioaktiver Substanzen bei aller Kürze recht erschöpfend beschrieben und im Anschluß daran ein kurzer Überblick über die Rutherfordsche Zerfalltheorie gegeben.

Zeitschrift für Elektrochemie. Die vorliegende Behandlung des Themas von einem hervorragenden Fachmann zeichnet sich durch besonders leichte Verständlichkeit aus und wird daher in den weitesten Kreisen der Chemiker und Physiker Gegenliebe finden. Die Bedeutung der Theorie ruht auf dem Boden beider Wissenschaften gleichmäßig, jede von ihnen darf für ihre Zukunft Wichtiges erwarten, und so ist der Gegenstand, wenn auch vorerst rein theoretischer Natur, dennoch in besonderem Grade dazu angetan, ein neues Bindeglied zwischen Physik und Chemie zu werden.

Über all diese interessanten Fragen, ebenso wie über die einschlägigen physikalischen Probleme der verschiedenen Strahlen und Eigenschaften der Elektronen finden wir, dank der verständnisvollen Übersetzung in lesbarer Form, Anregung und Belehrung. Das handliche Buch kann daher nur aufs wärmste empfohlen werden.

Elektrotechnische Zeitschrift. Der Verfasser zeigt sich auch in der vorliegenden Schrift als ein Meister allgemeinverständlicher Darstellung, ohne der wissenschaftlichen Strenge etwas zu vergeben. Er faßt das Ganze in bewundernswerter Klarheit und in musterhafter Weise zusammen, so daß es ihm in der Tat gelungen ist, auf knappem Raum ein nahezu vollständiges Bild des Ursprunges, der Entwickelung und des gegenwärtigen Standes der Elektronentheorie zu entwerfen. Er setzt dabei nicht mehr voraus, als etwa von einem Studenten verlangt werden kann, der eine Vorlesung über Experimentalphysik mit Nutzen gehört hat. Die Übersetzung läßt nichts zu wünschen übrig. Die Ausstattung des Buches, großer außerordentlich deutlicher Druck auf ungewöhnlich starkem Papier, ist vortrefflich.

LENARD, P., Über Kathodenstrahlen. Nobel-Vorlesung gehalten in öffentlicher Sitzung der Kgl. Schwedischen Akademie der Wissenschaften zu Stockholm am 28. Mai 1906. [42 S. Mit 11 Textfiguren.] 1906. M. 1.20.

Der Verfasser, der für seine hervorragenden Forschungen mit dem physikalischen Nobelpreis ausgezeichnet wurde, veröffentlicht hier seinen in Stockholm gehaltenen Vortrag. Der Text ist ganz allgemeinverständlich gehalten; er behandelt die Entwickelung der heutigen Kenntnisse von den Kathodenstrahlen, der Elektrizität und der Konstitution der Materie, alles historisch und an der Hand der eigenen Arbeiten. Der Verfasser sagt darin über die Enstehungsgeschichte seiner Arbeiten und über deren Zusammenhang mit den Arbeiten anderer manches, worum er oft gefragt wurde, und wovon er bisher niemals etwas geäußert hatte. Der Vortrag dürfte daher, zumal bei dem billigen Preise, größerer Verbreitung fähig sein.

BEETZ, WILHELM, Über die bisherigen Beobachtungen im ultraroten Spektrum. [45 S. mit 15 Abb.] 1907. M. 1.—.

Diese zusammenfassende und die neuesten Forschungen berücksichtigende Darstellung dürfte nicht nur die auf optischem Gebiete arbeitenden Physiker, sondern alle, die sich für die Strahlungsphänomene interessieren, in die Materie einführen. Sind doch die Strahlungsphänomene die aktuellsten physikalischen Erscheinungen. Die Arbeit ist unter Leitung von Professor Dr. Martens in Berlin angefertigt und leicht verständlich.

SODDY, M. A. Frederick, Die Radioaktivität in elementarer Weise vom Standpunkte der Desaggregationstheorie aus dargestellt. Unter Mitwirkung von Dr. *L. F. Guttmann,* übersetzt von Prof. *G. Siebert.* [VIII, 216 S. mit 38 Abb.] 1904. M. 5.60, geb. M. 6.40.

Zeitschrift für angewandte Chemie. Die Art, wie Soddy die radioaktiven Vorgänge in das Gebiet der großen Strahlungserscheinungen einordnet, wie er am Schluß in dem Kapitel „Ausblicke" die Folgerungen zieht für andere Wissensgebiete, wie er zeigt, daß fundamentale Gesetze der Physik wie der zweite Hauptsatz der Wärmelehre oder das Gesetz von der Konstanz der Maße möglicherweise eine Einschränkung erfahren werden, das alles macht das Buch auch für den sehr anziehend und lesenswert, dem das Forschungsgebiet des Verfassers fernliegt.

BESSON, PAUL, Das Radium und die Radioaktivität, allgemeine Eigenschaften und ärztliche Anwendungen. Mit einem Vorwort von *d'Arsonval.* Autorisierte deutsche Übersetzung von Dr. *W. von Rüdiger,* mit einem Vorwort von Dr. *Alfred Exner.* gr. 8°. [VIII, 115 S. mit 22 Figuren.] 1905. M. 3.60, geb. M. 4.40.

Zeitschrift für Elektrochemie. Dieses kleine Buch enthält in sehr guter, sachgemäßer Auswahl eine Schilderung der Entdeckung radioaktiver Substanzen, sowie der Untersuchungen über die Natur der radioaktiven Stoffe. Voran geht ein Kapitel über die einschlägigen Meßmethoden. Dem Zweck entsprechend, hauptsächlich ein Leitfaden für Mediziner zu sein, sind die physikalischen und chemischen, sowie besonders die physiologischen und therapeutischen Wirkungen der Radiumstrahlen besonders eingehend behandelt. Wir können das Buch allen Interessenten, besonders den Ärzten, auf das wärmste empfehlen.

BRIGHAM YOUNG UNIVERSITY
3 1197 20979 9292
1.30
e 24/9